



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

## ÚSTAV MIKROELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF MICROELECTRONICS

## NABÍJECÍ STANICE NIMH BATERIOVÝCH BLOKŮ

CHARGING STATION NIMH BATTERY PACKS

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Vít Pochylý

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Pavel Šteffan, Ph.D.

BRNO 2020

# Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Mikroelektronika a technologie**

Ústav mikroelektroniky

**Student:** Vít Pochylý

**ID:** 195418

**Ročník:** 3

**Akademický rok:** 2019/20

**NÁZEV TÉMATU:**

## Nabíjecí stanice NiMh bateriových bloků

### POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

V rámci bakalářské práce navrhnete a realizujete nabíjecí stanici vhodnou pro nabíjení NiMh bateriových bloků 7,2 V/2000 mAh. Zaměřte se na analýzu řešení nabíjení a vyberte takové, které bude schopné co nejefektivněji nabíjet větší množství akumulátorů současně. Navržená stanice musí být schopna nabít současně 6 ks těchto bloků složených z jednotlivých článků. Nabíjecí stanici navrhnete tak, aby umožňovala automatický provoz a monitoring nabíjených článků. Funkčnost nabíjecí stanice ověřte změřením důležitých parametrů. Výsledky měření vyhodnoťte.

### DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího práce.

**Termín zadání:** 3.2.2020

**Termín odevzdání:** 8.6.2020

**Vedoucí práce:** doc. Ing. Pavel Šteffan, Ph.D.

**doc. Ing. Jiří Háze, Ph.D.**  
předseda rady studijního programu

### UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

## **ABSTRAKT**

Cílem této bakalářské práce je seznámit se s vlastnostmi nabíjecích akumulátorových baterií a jejich nabíjení a na základě těchto získaných informací provést návrh nabíječe většího množství baterií. Návrh a s ním později spojená konstrukce nabíječe bude navržena na 6 bateriových bloků, které jsou složeny ze šesti NiHM nabíjecích článků. Znamená to, že nabíječ bude schopný nabíjet 36 těchto článků. Hlavní výhodou bude ovládání nabíječe pomocí mikrokontroleru, což bude umožňovat vhodnou volbu nabíjecího cyklu, zobrazení informací na displeji a ovládání pomocí tlačítek.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

nabíječ, baterie, bateriové bloky, NiMH, mikrokontroler

## **ABSTRACT**

The aim of this bachelor thesis is to get acquainted with the characteristics of rechargeable accumulator batteries and their charging and on the basis of this obtained information to design a charger of larger number of batteries. The design and later construction of the charger will be designed for 6 battery packs, which consist of six NiHM rechargeable cells. This means that the charger will be able to charge 36 of these cells. The main advantage will be the control of the charger using a microcontroller, which will allow the appropriate selection of the charging cycle, display of information and control by buttons.

## **KEYWORDS**

charger, battery, battery pack, NiMH, microcontroller

POCHYLÝ, Vít. *Nabíjecí stanice NiMh bateriových bloků*. Brno, 2020. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/127057>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav mikroelektroniky. Vedoucí práce Pavel Šteffan.

# Prohlášení autora o původnosti díla

<b>Jméno a příjmení studenta:</b>	Vít Pochylý
<b>VUT ID studenta:</b>	195418
<b>Typ práce:</b>	Bakalářská práce
<b>Akademický rok:</b>	2019/20
<b>Téma závěrečné práce:</b>	Nabíjecí stanice NiMh bateriových bloků

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: **31. května 2019**

.....  
Podpis autora

# PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Pavlovi Šteffanovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

# OBSAH

<b>Úvod</b>	<b>1</b>
<b>1 Baterie a jejich vlastnosti</b>	<b>2</b>
1.1 Baterie Li-ion a Li-pol .....	2
1.2 Baterie NiCd a NiMH .....	3
1.3 Volba vhodného akumulátoru .....	5
<b>2 Teorie nabíjení baterií</b>	<b>6</b>
2.1 Charakteristika nabíjení .....	6
2.2 Nabíjení s konstantním proudem (I) .....	7
2.3 Nabíjení s konstantním napětím (U) .....	8
2.4 Nabíjení podle charakteristiky W .....	9
2.5 Pokročilé nabíjení NiMH akumulátorů .....	10
<b>3 Návrh nabíječe</b>	<b>13</b>
3.1 Napájecí a nabíjecí obvod .....	13
3.2 Senzorový obvod .....	17
3.3 Řídící obvod .....	18
3.4 Zobrazení informací a ovládání .....	21
<b>4 Realizace</b>	<b>22</b>
4.1 Použitý napájecí zdroj a krabička .....	22
4.2 Výběr vhodných periférií .....	24
4.3 Schématický návrh obvodu .....	26
4.4 Návrh desky plošných spojů (DPS) .....	30
4.5 Výsledné zapojení .....	32
4.6 Ukázka zapojení a měření .....	36
4.7 Celkové náklady na konstrukci .....	41
<b>5 Závěr</b>	<b>42</b>
<b>Použité měřicí přístroje</b>	<b>43</b>
<b>Literatura</b>	<b>44</b>
<b>Seznam symbolů, veličin a zkratk</b>	<b>46</b>

<b>Seznam obrázků</b>	<b>48</b>
<b>Seznam tabulek</b>	<b>50</b>
<b>A Návrh nabíječe</b>	<b>51</b>
A1 Blokové schéma nabíječe .....	51
A2 Obvodové schéma zapojení.....	52
A3 Design desky plošných spojů (DPS) .....	53



# ÚVOD

Předpokladem a cílem této bakalářské práce je konstrukce zařízení, které je schopno nabíjet větší množství baterií současně. Důvodem je úspora času. Většina univerzálních nabíječů, ale i profesionálních modelářských nabíjecích stanic, dokáže nabíjet baterie různých druhů, některé i s velkou rychlostí nebo šetrností k životnosti baterie. Pokud však v praxi nastane situace, kdy je zapotřebí nabít větší množství baterií s různým stupněm nabití, není bohužel jiné východisko, než tyto baterie nabíjet postupně na jednom nabíječi nebo na více nabíjecích současně. Tato semestrální práce se věnuje principu činnosti a konstrukci nabíječe, do něhož bude možné připojit až 6 šesti-čládkových bateriových bloků, které bude schopen nabíječ postupně automaticky nabít.

Bateriové bloky, které budou nabíjeny, slouží jako napájení pro různé mikrokontrolerem řízené roboty, vozítka či dopravníky, proto se bude první část této práce zabývat akumulátory, jež jsou vhodné pro tuto praxi. Důraz bude kladen hlavně na akumulátory typu NiMH a NiCd, které jsou v současnosti více používány díky důvodům popsaným v této kapitole.

Ve druhé části jsou zmíněny různé druhy a způsoby nabíjení těchto akumulátorů a je vybráno nejvhodnější řešení, nejlépe odpovídající požadovaným nabíjecím vlastnostem. Kapitola se zaměřuje na nabíjení podle charakteristik nabíječů a porovnává jejich klady a zápory. Také ale zmiňuje některé další pokročilé metody nabíjení, které se v praxi na profesionálních nabíjecích stanicích používají.

Třetí část práce se věnuje návrhu samotného zařízení a problematice jednotlivých obvodů. Prvním zmíněným obvodem je obvod napájecí, kde bude popsána stabilizace napětí pro řídicí a nabíjecí obvody doplněná o výpočty, na jejichž základě bude zvolen vhodný napájecí adaptér. Na to navazuje obvod nabíjecí, kde bude důkladně popsán princip postupného nabíjení bateriových bloků, dále obvod senzorový, jenž zajišťuje měření veličin důležitých pro nabíjecí cyklus, jako je napětí a teplota. Jako poslední je část s řídicím obvodem, která pojednává o použitém mikrokontroleru, nahrávání firmwaru, řízení jednotlivých součástí zařízení i nabíjecího cyklu a vyhodnocování informací ze senzorů. V závěru kapitoly bude probrána problematika ovládání mikrokontroleru pomocí vstupních tlačítek a zobrazení důležitých informací na displej.

Poslední část práce je věnována realizaci a konstrukci navrženého nabíječe. Jsou zde vybrány všechny konstrukční části zařízení a jejich výběr je zde odůvodněn. Dále je zde popsán schématický obvodový design a poté samotný návrh desky plošných spojů. Dále je zde předvedeno výsledné zapojení, na kterém bylo provedeno testovací měření nabíjecího cyklu. Jsou zde také popsány chyby, které vznikly při návrhu spolu s předpokládanými opravami pro jejich odstranění. Nakonec je zde stanovena orientační cena veškerých použitých součástek a materiálů.

# 1 BATERIE A JEJICH VLASTNOSTI

Tato kapitola se bude blíže věnovat praktickým vlastnostem nabíjecích akumulátorů a jejich využití v drobné robotice a elektronice. Pod výrazem drobná robotika je možné si představit různé studentské projekty, ale i funkční modely různých technických přístrojů, jako jsou například autonomní vozidla, robotické ruky, rádiem řízené modely a mnoho dalších.

Pojem článek označuje jednoduchou elektrochemickou jednotku tvořenou z elektrod, separátoru a elektrolytu. Jako baterii nebo bateriový blok je označováno uskupení jednoho nebo několika článků s elektrickým spojením, kontakty a ochranným krytem. Akumulátor je baterie, která dokáže opakovaně vydávat a přijímat elektrickou energii. Můžeme se taky setkat s použitím termínu nabíjecí baterie, což je hovorové označení pro akumulátor.

## 1.1 Baterie Li-ion a Li-pol

Obecně se označují, jako lithiové nabíjecí baterie nebo lithiové akumulátory. Jejich hlavní výhodou je velká hustota energie, malé samovybití a relativně vysoká kapacita s malým objemem a hmotností.

### Vlastnosti Li-ion článku:

Záporná elektroda (anoda) lithium-iontového článku je vyrobena z uhlíku, kladná elektroda (katoda) je většinou sloučenina kovového lithia s oxidem kovu. Jako elektrolyt se používá lithiová sůl v organickém rozpouštědle.

Při vybíjení se lithiové ionty pohybují elektrolytem ze záporné na kladnou elektrodu, kde dochází k reakci s oxidem kovu (oxidací). Tvoří se zde pak vrstva lithiových oxidů, která má za následek snížení napětí. Při nabíjení se tyto ionty pohybují zpět z katody na anodu a vrstva oxidů pak postupně vymizí, což má za následek opětovné zvýšení napětí. [1]

Jmenovité napětí Li-ion článku je 3,6 V. Skutečné napětí na článku může dosahovat rozmezí přibližně 2,5-4,2 V, záleží na stupni nabití. Baterie s li-ion články většinou obsahuje pomocnou elektroniku, která brání nadměrnému vybití a přebití, což by mohlo baterii nenávratně zničit. [2]

### Vlastnosti Li-pol článku:

Stejně jako v případě lithium-iontového článku je anoda vyrobena z uhlíku a katoda je oxid kovu. Zásadní rozdíl je ale v použitém elektrolytu. V lithium-iontopolymerových bateriích je elektrolyt tvořen, jak už název napovídá, pevným polymerem ve formě gelu.

Také princip vybíjení a nabíjení je u Li-pol článků stejný. Dochází zde k cestování lithiových iontů skrze elektrolyt a zvětšování a zmenšování vrstvy oxidů na kladné elektrodě.

Děje na kladné elektrodě lze popsat rovnicí:



a děje na záporné elektrodě rovnicí:



Tyto děje platí pro oba typy lithiových akumulátorů.

Jmenovité napětí je opět podobné, pohybující se mezi 3,6-3,8 V. Plně vybitá baterie má napětí asi 2,7V a plně nabitá 4,2V. [1], [3]

### **Použití, výhody a nevýhody:**

Využití lithiových baterií je široké. Můžeme je nalézt v různé běžné spotřební elektronice, jako jsou například hračky, chytré telefony, notebooky. V posledních letech se můžeme setkat i s použitím v dopravě (koloběžky, kola, automobily).

Jejich hlavní výhodou je velká hustota energie, malé samovybíjení a relativně vysoká kapacita s malým objemem a hmotností. Tyto baterie se dají vyrobit v podstatě jakémkoliv požadovaném tvaru. Lithiové baterie mají taky, při vhodném zacházení, dobrou životnost pohybující se mezi 500-1200 nabíjecími cykly.

Velkou nevýhodou je možnost vznícení nebo dokonce výbuchu při špatném zacházení, zejména při deformaci nebo zkratování. Nutností je tedy spolehlivá vnitřní ochrana proti zkratu, ale taky pevné a odolné pouzdro, které ochrání baterii. Za zmínku také stojí samovolné zvyšování tlaku uvnitř baterie, které vede k tzv. „nafouknutí“ baterie. Problémem může být i pokles kapacity baterie i při nepoužívání akumulátoru nebo vyšší pořizovací cena. [1], [2], [3]

## **1.2 Baterie NiCd a NiMH**

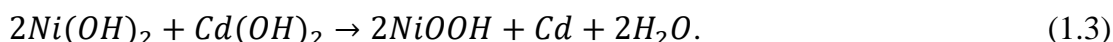
Jak už z názvu vyplívá základní složkou jejich článků je nikl a jeho sloučeniny. Jako u lithiových baterií je jejich využití velmi široké. Velké oblibě se jim dostává hlavně díky jejich nízké pořizovací ceně, jednoduchému zacházení a bezpečnosti.

Dřívější typ niklových akumulátorů používal jako aktivní složku sloučeninu kadmia. Od toho vychází název nikl-kadmiový (NiCd) akumulátor. V 90. letech se stal nejpoužívanějším akumulátorem. Díky podobnému jmenovitému napětí jako u obyčejných alkalických baterií se dal tento akumulátor použít jako jejich náhrada. Nikl-kadmiové akumulátory na začátku 21. století vystřídali akumulátory nikl-metal hydritové (NiMH), které používají jako svoji aktivní složku kovovou slitinu schopnou uvolňovat vodík při nabíjení. Ve srovnání s nikl-kadmiovým akumulátorem má přibližně dvojnásobnou kapacitu a je poměrně levnější. [1]

### **Vlastnosti NiCd článku:**

Elektrochemicky aktivní složkou kladné elektrody je ve vybitém stavu hydroxid nikelnatý, záporné elektrody hydroxid kadmínatý. Elektrolytem hermetických akumulátorů je ve většině případů hydroxid draselný (KOH), rozpuštěný ve vodě. Mezi elektrody jsou vloženy separátory, které oddělují kladný a záporný elektrodový systém a současně slouží jako nosič elektrolytu.

Při nabíjení dochází k reakci mezi těmito dvěma hydroxidy. Po přijetí volných elektronů během nabíjení hydroxid kadmínatý odevzdává svoji  $(OH)^-$  skupinu hydroxidu nikelnatému za vzniku hydroxidu oxidu nikelnatého (niklohydroxid), vody a čistého kadmia. Při vybíjení kadmium opět rekombinuje s vodou a na elektrodách opět vznikají zmínované hydroxidy. Děj lze popsat touto rovnicí:



Jmenovité napětí jednoho článku je 1,2 V. V plně nabitém stavu dosahuje napětí k 1,35 V a vybitý článek má 0,8-1,0 V. [1], [4]

### **Vlastnosti NiMH článku**

Kladná elektroda NiMH akumulátorů má stejnou konstrukci a stejné složení aktivní hmoty jako kladná elektroda NiCd akumulátorů, to znamená, že rovněž elektrochemické změny probíhající při nabíjení a vybíjení jsou shodné. Změna nastává na záporné elektrodě. Záporná elektroda obsahuje jako elektrochemicky aktivní látku kovovou slitinu, která je schopná během nabíjení a vybíjení vázat a uvolňovat vodík.

Při nabíjení dochází k uvolňování vodíku, který se váže na kovovou slitinu za vzniku metal hydritu (MH) a volné hydroxidové skupiny  $(OH)^-$ . Při vybíjení článek odevzdává volné elektrony, které se navázali při nabíjení. Uvolněný vodík rekombinuje s kyslíkem a tvoří stabilnější molekulu vody a kovovou slitinu.

Děj na kladné elektrodě je stejný jako u nikl-kadmiového článku a lze opět popsat rovnicí 1.3. Děj probíhající na záporné elektrodě lze zapsat takto:



Jmenovité napětí je 1,2 V. Napětí (naprázdno) plně nabitého článku je 1,4 V; napětí vybitého článku je 1,0 V. [1], [5]

### **Použití, výhody a nevýhody**

Niklové akumulátory se vyrábí v mnoha tvarech a variantách a jejich použití je hojné. Nejpoužívanější variantou je typ AA a AAA, kde tyto akumulátory mohou díky podobnému jmenovitému napětí nahradit klasické jednorázové alkalické baterie. To znamená že jejich použití je hlavně ve spotřební elektronice jako hračky, dálkové ovládání, přenosné svítilny nebo AKU nářadí.

Výhodou proti jiným akumulátorům je hlavně jejich cena, životnost a robustnost. Jsou také značně odolné proti přebíjení a podvybití. Jsou schopny dodávat relativně vysoké proudy díky nízkému vnitřnímu odporu. Velkou výhodou je taky možnost rychlonabíjení.

Hlavní nevýhodou je velká míra samovybíjení a menší jmenovité napětí článku v porovnání s lithiovými akumulátory. Niklové akumulátory o stejné kapacitě jsou také nezanedbatelně těžší. [1], [4], [5]

### 1.3 Volba vhodného akumulátoru

V tabulce 1.1 je shrnuto porovnání hlavních parametrů zmiňovaných akumulátorů. Hodnoty jsou orientační a mohou se samozřejmě lišit u různých typů a výrobců.

Tabulka 1.1 - Porovnání vlastností nejpoužívanějších akumulátorů v elektronice [6], [7]

Typ akumulátoru	Li-ion	Li-Pol	NiCd	NiMH
Jmenovité napětí [V]	3,6	3,7	1,2	1,2
Maximální napětí [V]	4,1	4,2	1,35	1,35
Minimální napětí [V]	3	3	0,85	0,85
Počet cyklů	1200	500	2000	2000
Měrný výkon [W/kg]	250-340	250-340	150	250-1000
Měrná energie [Wh/kg]	100-265	100-265	40-60	60-120
Energetická hustota [Wh/dm <sup>3</sup> ]	250-693	250-730	50-150	140-300
Samovybíjení [%/měsíc]	0,5	0,5	10	2,5
Nabíjecí proud [násobek kapacity C]	0,5	1	2	2
Poměr energie a ceny [Wh/\$US]	1,5	2	2	2,75

Nabíjené bateriové bloky se používají pro napájení studentských projektů. Znamená to, že při výběru baterie se rozhodlo zvolit baterii s dlouhou životností, která nebude příliš drahá, bude robustní a bezpečná i při nevhodném zacházení. Baterie musí být také schopna dodat potřebný výkon pro napájení motorů, servomotorů a různých senzorů. Těmto parametrům nejlépe vyhovují akumulátory nikl-metal hydridové (NiMH). Proto se tato práce věnuje nabíjení právě těchto akumulátorů v provedení bateriových bloků se šesti stejnými články typu AA o kapacitě 2 Ah.

## 2 TEORIE NABÍJENÍ BATERIÍ

Z minulé kapitoly lze odvodit, že každý akumulátor je nutno nabíjet rozdílným způsobem. Existuje mnoho různých metod, jakými lze nabíjení realizovat. Tato kapitola se bude věnovat nejčastěji používaným metodám, které se běžně vyskytují v praxi.

Pojem charakteristika nabíječe označuje závislost mezi výstupním napětím a nabíjecím proudem. Tomuto vztahu se také říká voltampérová charakteristika nabíječe. V odborné praxi se obvykle používá ustálených zkratk, které označují typ nabíjecí charakteristiky nabíječe.

$C$  je kapacita akumulátoru v Ah, udaná výrobcem. Nabíjecí proud se úměrně od této kapacity odvozuje, neboť kapacita  $C$  charakterizuje akumulátor z hlediska fyzikálních vlastností. Tedy pokud bude stanoveno, že nabíjecí proud je  $2 C$ , znamená to, že článek bude nabíjen dvojnásobkem jeho kapacity v Ah. [9]

### 2.1 Charakteristika nabíjení

Charakteristiky lze delit podle toho, kterou hodnotu veličiny mají po čas nabíjení konstantní.

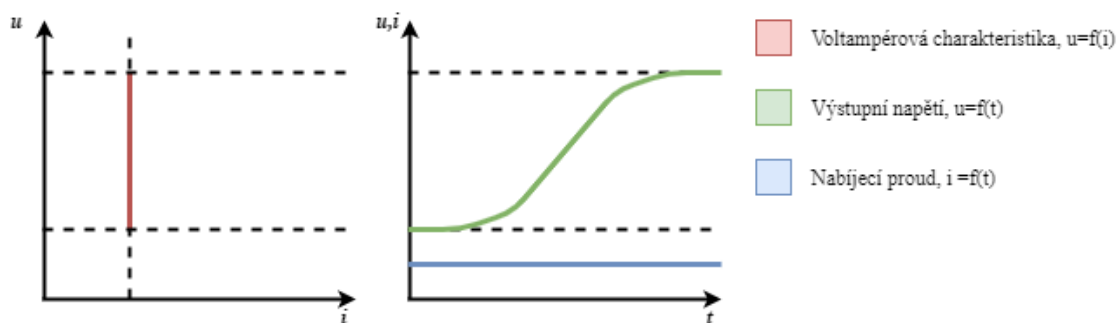
Nabíječ s charakteristikou zdroje konstantního proudu je označován písmenem **I**. Tento nabíječ poskytuje stálý nabíjecí proud po celou dobu nabíjení, bez ohledu na stav nabití akumulátoru. Tyto nabíječe mají velký vnitřní odpor.

Nabíječ, pracující jako zdroj konstantního napětí, se označuje **U**. Tento nabíječ na výstupu udržuje konstantní napětí v celém rozsahu nabíjecích proudů. Tyto nabíječe mají naopak malý vnitřní odpor.

Nabíječ, který v průběhu nabíjení mění nabíjecí proud s ohledem na aktuální napětí akumulátoru, označujeme **W**. Tento nabíječ pracuje jako zdroj konstantního výkonu. Tyto nabíječe mají vnitřní odporové omezení proudu. [8]

## 2.2 Nabíjení s konstantním proudem (I)

Tento druh nabíječe je schopen po celý nabíjecí cyklus dodávat konstantní proud do nabíjeného akumulátoru. Na obr. 2.1 lze ve voltampérové charakteristice sledovat, že se mění napětí na výstupních svorkách, ale proud zůstává stejný. Výstupní napětí se mění v závislosti na stavu nabití akumulátoru. Na časovém průběhu na stejném obrázku je znázorněna tato rostoucí změna napětí. [8]



Obr. 2.1 - Voltampérová charakteristika (vlevo) a časový průběh výstupního napětí a nabíjecího proudu (vpravo) nabíječe s charakteristikou **I**. Inspirováno z [8]

### Použití charakteristiky I

- 1) Nabíjení olověných akumulátorů. Princip tohoto nabíjení používají běžné nabíječe autobaterií. Většinou se v tomto případě volí nabíjecí proud asi  $0,1\text{ C}$ . Klasické olověné akumulátory pro automobily mají kapacitu  $44\text{ Ah}$ , což znamená nabíjecí proud kolem  $4,4\text{ A}$ . Doba nabíjení je do 10 hodin.
- 2) Nabíjení niklových akumulátorů. Nabíjecí proud je v tomto případě omezen teplotou akumulátoru. Elektrolyt se zvyšujícím se nabíjecím proudem zahřívá. Proto je potřeba zvolit vhodnou hodnotu nabíjecího proudu. Většina výrobců baterií udává v dokumentaci k baterii doporučený a maximální nabíjecí proud. Pro nikel metalhydritové akumulátory platí obecné pravidlo, že nabíjecí proud je omezen asi na  $0,3 - 0,5\text{ C}$ . Doba nabíjení je 2-4 hodiny.
- 3) Začátek nabíjecího cyklu pro lithiové akumulátory má charakteristiku tohoto druhu nabíječe. [8]

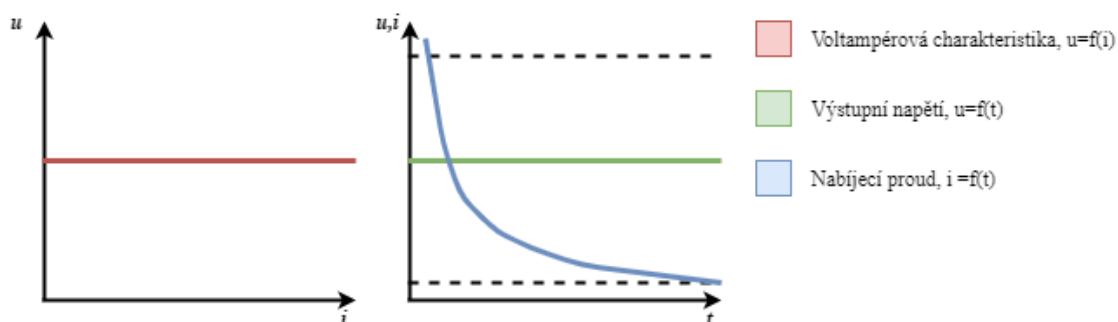
### Výhody a nevýhody charakteristiky I

- Lze snadno spočítat množství energie dodané akumulátoru (násobek nabíjecího proudu a doby nabíjení)
- Kapacita akumulátorů zapojených v sérii zůstává stejná. To znamená, že při nabíjení článků, nebo akumulátorů zapojených v sérii není třeba nastavovat nabíjecí proud, a to ani v případě, bude-li odpojen nebo připojen další akumulátor.
- K ukončení nabíjení lze použít běžný časový spínač, přičemž na začátku nabíjení bude nastavena energie, kterou je nutno akumulátoru dodat.

- Není nutné použít ampérmetr, je-li nabíječ určen pouze pro jednu hodnotu nabíjecího proudu (pro jeden typ baterií).
- Může být těžké držet na výstupu konstantní proud, díky měnícímu se odporu při zahřívání. [8]

## 2.3 Nabíjení s konstantním napětím (U)

Tento druh nabíječe si po celou dobu nabíjení drží na výstupních svorkách stejné napětí, jaké mu na začátku bylo nastaveno. Po připojení vybitého akumulátoru k nabíječi začíná nabíjení velkým počátečním nabíjecím proudem, jak lze pozorovat na časovém průběhu na obr.2.2. Pozor si je potřeba dát na maximální nabíjecí proud udávaný výrobcem akumulátoru, který by měl být dodržen. Nabíjecí proud klesá v závislosti na stupni nabití akumulátoru. [8]



Obr. 2.2- Voltampérová charakteristika (vlevo) a časová průběh výstupního napětí a nabíjecího proudu (vpravo) nabíječe s charakteristikou U. Inspirováno z [8]

### Použití charakteristiky U

- 1) Nabíjení olověných akumulátorů. Princip tohoto nabíjení používají levné nabíječky autobaterií. Většinou se v tomto případě volí počáteční proud nepřesahující 1,2 C. Konečný nabíjecí proud je menší než 0,002 C. Doba potřebná k plnému nabití je 10 až 15 hodin je závislá na počátečním proudu a druhu akumulátoru.
- 2) Nabíjení niklových akumulátorů. Musíme zvolit konstantní výstupní napětí v rozmezí 1,65 až 1,72 V. Počáteční nabíjecí proud by neměl přesáhnout 0,6 C. Konečný nabíjecí proud není menší než 0,07 C. Doba nabití je mezi 10 až 12 hodinami.
- 3) Konec nabíjecího cyklu pro lithiové akumulátory má charakteristiku tohoto druhu nabíječe. [8]

### Výhody a nevýhody charakteristiky U

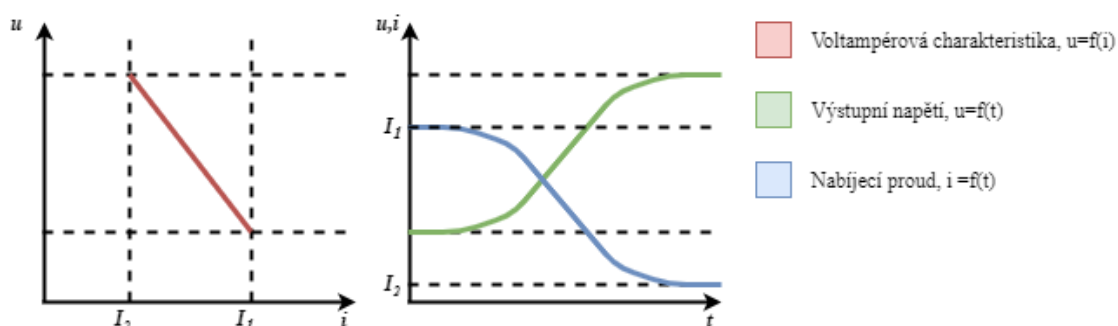
- U tohoto typu nabíječe je nutno dát pozor, aby nedošlo ke zkratu na svorkách, nebo k připojení vadného akumulátoru a nabíječ jistit proti velkému proudu, který by takto vznikl.



- Vzhledem k malému konečnému nabíjecímu proudu není nutné přesně stanovit konec nabíjení.
- Napětí akumulátorů zapojených paralelně zůstává stejné, proto tento způsob nabíjení umožňuje nabíjet větší množství baterií o stejném svorkovém napětí zapojených paralelně. [8]

## 2.4 Nabíjení podle charakteristiky **W**

Na obr. 2.3 lze pozorovat typickou voltampérovou charakteristiku **W**. Se zvyšujícím se napětím akumulátoru se úměrně snižuje nabíjecí proud. Tohoto jevu je dosaženo vložením omezujícího odporu, či vhodnou impedancí. Nabíječe se doplňují časovými spínači, jimiž lze po uplynutí nastaveného času ukončit nabíjení, nebo přepnout jinou charakteristiku, tzv. dvojstupňové nebo víceetapové nabíjení. [8]



Obr. 2.3- Voltampérová charakteristika (vlevo) a časový průběh výstupního napětí a nabíjecího proudu (vpravo) nabíječe s charakteristikou **W**. Inspirováno z [8]

### Výhody a nevýhody charakteristiky **W**

- Vhodné pro rychlonabíjení. Pro různé druhy akumulátorů je však pro optimální nabíjení vhodný různý sklon charakteristiky **W**, takže lze takové nabíječe těžko konstruovat jako univerzální.
- Nutný větší dohled na nabíjení během nabíjecího cyklu – kontrolní ampérmetr je nutností.
- Energie dodaná při nabíjení se těžko stanovuje, jelikož dochází v průběhu ke změnám proudu i napětí. Nelze tedy dobře stanovit dobu potřebnou pro nabití baterie.
- Podobně jako u nabíječů s charakteristikou **U** je nutno dát pozor, aby nedošlo ke zkratu na svorkách, nebo k připojení vadného akumulátoru. Mohlo by dojít k poškození nabíječe, v horších případech i k požáru. [8]

## 2.5 Pokročilé nabíjení NiMH akumulátorů

Ačkoli jsou si NiCd a NiMH akumulátory velmi podobné, nabíjení NiMH akumulátorů je poněkud odlišné od nabíjení NiCd akumulátorů. Hlavním rozdílem je průběh teploty při nabíjení. U NiCd akumulátorů teplota většinou v průběhu nabíjení zůstává konstantní nebo nepatrně roste a prudce stoupá až při přebíjení. U NiMH akumulátorů teplota článků od začátku nabíjení neustále stoupá a při přebíjení je tento vzrůst prudší. Dále platí, že čím větší nabíjecí proud, tím rychlejší nárůst teploty. [9]

### Zrychlené nabíjení a rychlé nabíjení

Tyto termíny se používají při nabíjení konstantním nabíjecím proudem. Nabíjení proudy v rozmezí 0,5 – 1 C označujeme jako zrychlené nabíjení a lze jej použít na většinu typu akumulátorů. Je však nezbytné dávat si pozor na teplotu akumulátoru, a to hlavně u starších typů NiCd.

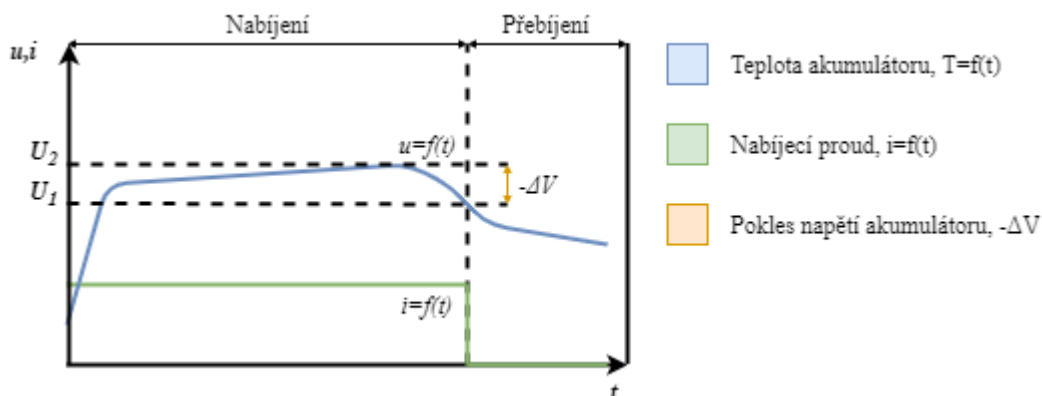
Nabíjení proudy v rozmezí 1 – 2 C se označuje jako rychlé nabíjení nebo také zkráceně rychlonabíjení. Tento typ nabíjení nelze použít na všechny akumulátory. Výrobce akumulátoru musí uvést tuto schopnost v jeho dokumentaci. U rychlonabíjení je nutné dát si extrémní pozor na teplotu baterie. Nabíječ musí být vybaven možností neprodleně přerušit nabíjení při příliš vysoké teplotě, jinak může dojít ke zničení nejen akumulátoru i samotného nabíječe. [9]

### Ukončení nabíjení poklesem napětí akumulátoru

Obecně se tato metoda označuje jako „ $-\Delta V$ “. Při nabíjení NiMH akumulátorů dochází při nabíjení konstantním proudem k poklesu napětí na akumulátoru. Pokles napětí je nepatrný, jen asi 5 mV na článek při normálním nabíjení proudy 0,3 – 0,5 C.

Pokud bude použito rychlé nabíjení, může dosahovat pokles napětí u běžného NiMH článku až 25 mV. S nabíječem bude nabíjen bateriový blok se 6 články. To znamená že na konci nabíjecího cyklu je možné očekávat pokles napětí mezi 30-150 mV. [9]

Na obr. 2.4 je tato metoda graficky znázorněna. Na grafu je průběh napětí akumulátoru při nabíjení konstantním proudem. Pokud je rozdíl pravidelně měřených hodnot (interval  $\Delta t$ ) napětí  $U_1$  a  $U_2$  větší než stanovená mez ( $-\Delta V$ ), dojde k ukončení nabíjení.



Obr. 2.4 – Graf znázorňující ukončení nabíjení poklesem napětí akumulátoru. Inspirováno z [9]

## Ukončení nabíjení po dosažení maximálního napětí

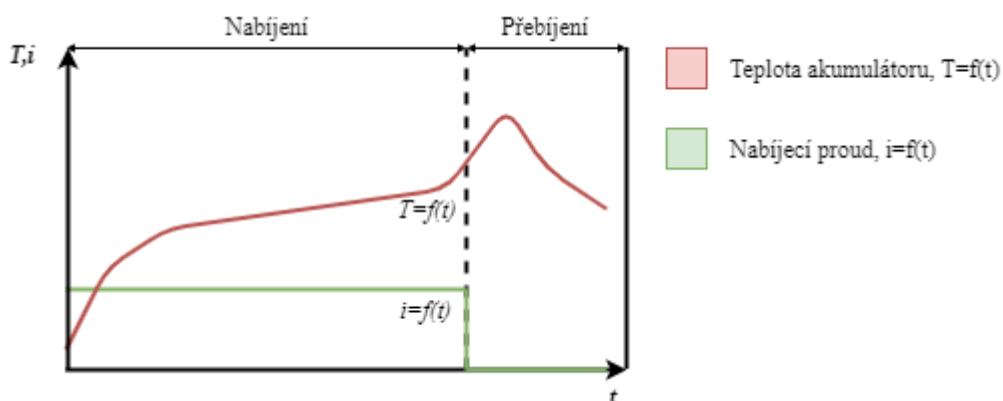
Po dosažení určité stanovené hodnoty napětí na akumulátoru nabíječ ukončí nabíjení. Nabíť NiMH akumulátor má maximální napětí podle tabulky 1.1  $U_{BAT} = 1,35 \text{ V}$ , to znamená že nabíječ jednoduše po dosažení této hodnoty přeruší nabíjení. Tato metoda je však nevýhodná, protože starší akumulátory nemusí této maximální hodnoty dosáhnout. Také se příliš nehodí pro nabíjení většího počtu akumulátorů, jelikož by bylo nutné použít dělič napětí, který by mohl opravdovou hodnotu napětí zkreslit. Nemuselo by tedy dojít k úplnému nabití nebo v horším případě k nadměrnému přebíjení akumulátorů.

## Ukončení nabíjení po dosažení limitní teploty

V praxi se tato metoda označuje jako „TCO“. Je to zkratka z angličtiny „Thermal cut-off“ a znamená to v překladu teplotní odpojení. Vypíná nabíjecí proud v okamžiku dosažení předem dané teploty, většinou nastává kolem  $+45 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Tento druh nabíjení se doporučuje u akumulátorů do 2 Ah proudem 0,5 C až 1 C a u akumulátorů s větší kapacitou proudem cca 0,3 C.

Metoda není vhodná pro nabíjení akumulátorových baterií s teplotou nízkou nebo naopak vysokou (ať už způsobenou teplotou okolí nebo zahříváním akumulátoru při vybíjení). Při nízkých teplotách dochází ke zbytečnému přebíjení a při teplotách vyšších se akumulátor nenabije na plnou kapacitu nebo se nezačne nabíjet vůbec.

Na obr. 2.5 lze tuto metodu pozorovat v grafu. Na grafu je průběh teploty akumulátoru při nabíjení. Pokud měřená teplota akumulátoru dosáhne mezní hodnoty ( $T_{co}$ ) dojde k přerušení nabíjení.



Obr. 2.5 - Graf znázorňující ukončení nabíjení po dosažení limitní teploty akumulátoru.  
Inspirováno z [9]

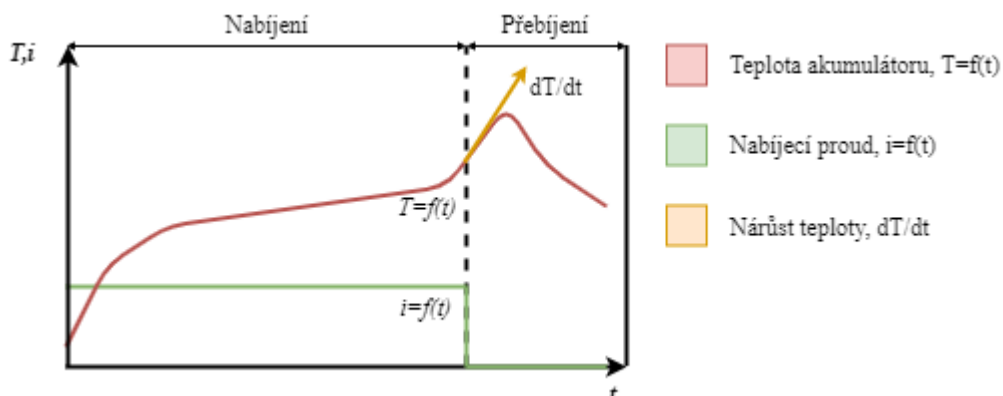
## Ukončení nabíjení nárůstem teploty za čas

Metoda „ $\Delta T/\Delta t$ “ je sledování změny teploty v čase ( $dT/dt$ ). K ukončení nabíjení dochází v momentě, kdy změna teploty je  $0,5 - 1 \text{ }^{\circ}\text{C}$  za minutu. Opět se doporučuje nabíjecí proud o velikosti alespoň 0,3 C a teploty okolí a akumulátoru do  $30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Metoda se stává nevhodnou při výpadku elektrické energie nebo při nabíjení nabitého a ještě teplého akumulátoru. Pokud takovýto akumulátor začneme znovu nabíjet, nabíječ čeká na další nárůst teploty.

Na obr. 2.6. je graficky znázorněna závislost teploty akumulátoru při nabíjení.

Teplota akumulátoru se opět měří v pravidelných intervalech jako tomu bylo u předešlé metody. Pokud je nárůst teploty větší než stanovená mez, dojde k přerušení nabíjení. [9]



Obr. 2.6 - Graf znázorňující ukončení nabíjení při limitním nárůstu teploty za čas. Inspirováno z [9]

### **Trickle a top-off nabíjení**

Trickle nabíjení znamená nabíjení plně nabitého akumulátoru rychlostí rovnající se rychlosti samovybíjení, což umožňuje akumulátoru zůstat na plně nabitě úrovni. Obvykle je to proud rovnající se asi 0,02 C. Většina nabíječů pracuje v tomto režimu po celou dobu připojení baterie. [17]

Top-off nabíjení je v překladu dobití do úplného maxima. Jedná se o šetrné přebití akumulátoru po ukončení jeho nabíjecího cyklu. Používá se, aby došlo k úplnému nabití a s tím prodloužení životnosti akumulátoru. Obvykle je to proud rovnající se asi 0,05 C. [9]

## 3 NÁVRH NABÍJEČE

Po vyhodnocení získaných informací o možném způsobu nabíjení NiMH akumulátorů bylo stanoveno nejlepší řešení návrhu nabíječe. Navrhovaný nabíječ musí být schopný nabíjet sériově zapojené akumulátory, parametry nabíjení musí být snadno volitelné pomocí mikrokontroleru a musí mít funkci samočinného ukončení nabíjecího cyklu. Jako nejlepší řešení v našem případě se jeví navrhnout nabíječ s charakteristikou **I** nebo **U**.

Nabíječ bude navržen na nabíjení většího počtu sériově zapojených NiMH akumulátorů se stejnou kapacitou. Akumulátory jsou sériově zapojeny v bateriových blocích po 6. Zařízení by mělo být schopno nabíjet tyto bloky alespoň zrychleným nabíjením

### 3.1 Napájecí a nabíjecí obvod

Je to nejdůležitější část celého nabíječe. Dodává energii pro všechny ostatní obvody v nabíječi. Musí být navržen s dostatečnou rezervou dodávaného výkonu, aby bylo zaručen bezpečný a bezproblémový chod zařízení.

Napájecí obvod sestává z těchto částí:

- Zdroj energie – K nabíjení a napájení vnitřních logických obvodů potřebujeme stejnosměrné napětí. Pokud bude nabíječ napájen ze sítě, je tedy nutné navrhnout vhodný měnič napětí. Zdroj je většinou tvořen z transformátoru, který sníží hodnotu napětí na požadovanou hodnotu, a usměrňovacím a filtrovacím obvodem, který převede střídavé napětí na stejnosměrnou složku. Jelikož návrh takového zdroje je komplikovanou záležitostí, bude zařízení zkonstruováno s využitím hotového napájecího adaptéru.
- Měnič napětí pro napájení logiky – Napětí z adaptéru je nutné stabilizovat na hodnotu vhodnou pro napájení logických obvodů. Doporučené napájecí napětí lze nalézt v dokumentech k napájenému integrovanému obvodu.
- Měnič napětí pro napájení nabíjecího obvodu – Opět je nutné stabilizovat vstupní napětí z adaptéru na požadovanou hodnotu pro napájení zdroje nabíjecího proudu.

#### **Stabilizace napětí pro napájení nabíjecího obvodu**

Protože nabíječ bude navržen nabíjet bateriové bloky, nejlepší řešení je pro každý bateriový blok navrhnout vlastní stabilizátor napětí. Nejjednodušším řešením by bylo opět použít lineární stabilizátory napětí. Problém s těmito stabilizátory je však jejich malá účinnost a s tím spojené velké ztrátové teplo. Lineární stabilizátory se tedy příliš nehodí pro výkonové zapojení. Komplikovanější, avšak z pohledu ztrát a účinnosti mnohem přívětivější, řešení je použití spínacího zdroje napětí.

#### Výhody a nevýhody použití lineárního stabilizátoru napětí:

- Jednoduchý návrh obvodu (stačilo by použít pouze jeden odpor)
- Jednoduchý výběr
- Nízká cena obvodu
- Hojná dostupnost u prodejců na webu
- Velké tepelné ztráty - pro velké proudové odběry je třeba použít chladič
- Malá účinnost (pod 50%)

#### Výhody a nevýhody použití spínaného zdroje napětí:

- Dobrá účinnost (až kolem 80-90%)
- Složitější návrh obvodu
- Cena obvodu (zdroj, cívka, kondenzátory) může být vyšší
- Složitější výběr a možná nízká dostupnost u prodejců

Nejdříve je nutné vypočítat příkon zdroje nabíjecího proudu. Jelikož výsledný nabíječ by měl být schopný nabíjet akumulátory v režimu zrychleného nabíjení, je nutné počítat s hodnotami nabíjecích proudů v kolem 0,5 C. Podle následujícího vzorce je možné vypočítat maximální nabíjecí proud  $I_N$  ( $Q_{BAT}$  je kapacita baterie v ampérhodinách):

$$I_N = Q_{BAT} \times C. \quad (3.1)$$

V našem případě budeme nabíjet akumulátory s maximální kapacitou 2000 mAh, takže výpočtem stanovíme hodnotu:

$$I_N = 2 \times 0,5 = 1 \text{ A}. \quad (3.2)$$

Aby došlo k nabíjení akumulátorů, hodnota napětí na výstupních svorkách by měla být větší než aktuální napětí celého bateriového bloku. Bateriové bloky obsahují 6 totožných sériově zapojených NiMH akumulátorů. Jejich napětí je tedy dáno vzorcem:

$$U_{BAT} = 6 \times U_{BAT(MAX)}, \quad (3.3)$$

kde  $U_{AK(MAX)}$  je maximální napětí jednoho akumulátoru. Z tabulky 1.1 lze pozorovat, že maximální napětí tohoto akumulátoru je  $U_{BAT(MAX)} = 1,35 \text{ V}$ . Po dosazení do vzorce:

$$U_{BAT} = 6 \times 1,35 = 8,1 \text{ V}. \quad (3.4)$$

Z těchto výpočtů vyplývá, že je nutné použít obvod, který dokáže kontinuálně dodávat proud až o velikost  $I_O = 1 \text{ A}$  při napětí vyšším než  $U_O = 8,1 \text{ V}$ .

K porovnání vlastností byl vybrán nejpoužívanější lineární stabilizátor napětí LM317T a spínaný regulátor TS34063, který má podobné výstupní parametry.

Tabulka 3.1 - Porovnání parametrů lineárního stabilizátoru LM317T a spínaného regulátoru TS34063 [11], [12]

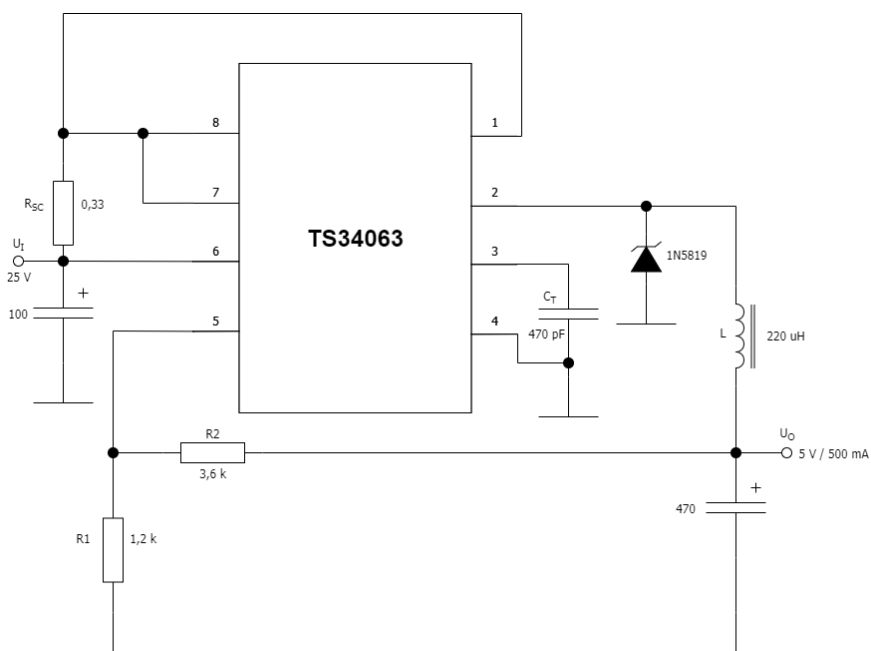
Parametr	LM317T	TS34063
Vstupní napětí	3 - 35 V	3 - 40 V
Výstupní napětí	1,25 - 37 V	5 - 40 V
Maximální výstupní proud	1,5 A	1,5 A
Referenční napětí	1,25 V	1,25 V
Cena součástky	asi 5,- Kč	asi 10,- Kč
Cena obvodu i se součástkami	do 10,- Kč	kolem 50,- Kč

Po konzultaci s vedoucím práce bylo rozhodnuto, že bude použit spínaný regulátor místo lineárního. Hlavními důvody jsou právě zmíněná nízká účinnost a větší ztrátové teplo u lineárních stabilizátorů.

Na obr. 3.1 je typické zapojení regulátoru TS34063 jako step-down měnič napětí. Varianta tohoto zapojení bude použita v nabíječi pro nabíjení jednotlivých bateriových bloků.

V tabulce 3.4 jsou parametry účinnosti testované na zapojení na obr. 3.1. Lze zde pozorovat, že při napájení mezi  $U_I = 15\text{--}25\text{ V}$  a výstupním proudem  $I_O = 0,5\text{ A}$  dosahuje obvod účinnosti 83,7%.

Dalším důležitým parametrem je zkratový proud o hodnotě  $I_O = 1,1\text{ A}$ , měřený při zátěži  $R_L = 0,1\Omega$ . Nabíjené akumulátory mají vnitřní odpor řádově v desítkách miliohmů. Jejich výsledný odpor při sériovém zapojení bude dosahovat podobných hodnot jako  $R_L$ . Očekávaný výstupní proud bude tedy velmi podobný naměřené zkratové hodnotě.



Obr. 3.1 - Typické zapojení TS34063 jako step-down měnič napětí. [12]

Tabulka 3.2 - Parametry pro TS34063 pro zapojení jako step-down měnič. [12]

Testovaná veličina	Podmínka	Výsledek
Přesnost regulace	$V_{IN}= 15 - 25, V I_O= 500 \text{ mA}$	$12 \text{ mV} \pm 0,12\%$
Regulace při zátěži	$V_{IN}= 25 \text{ V}, I_O= 50 - 500 \text{ mA}$	$3 \text{ mV} \pm 0,03\%$
Zvlnění výstupu	$V_{IN}= 25 \text{ V}, I_O= 500 \text{ mA}$	$120 \text{ mV}_{pp}$
Proud nakrátko	$V_{IN}= 25 \text{ V}, R_L= 0,1 \Omega$	$1,1 \text{ A}$
Účinnost	$V_{IN}= 25 \text{ V}, I_O= 500 \text{ mA}$	$0,837$

Napětí na výstupu je dáno podle vzorce:

$$U_O = 1,25 \times \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right). \quad (3.5)$$

Hodnota požadovaného výstupního napětí je známá  $U_O > 8,1 \text{ V}$ . Bude-li použita hodnota  $R_1 = 1,2 \text{ k}\Omega$ , lze stanovit ze vzorce 3.5 velikost odporu  $R_2$ .

$$R_2 = \frac{U_O \times R_1}{1,25} - R_1 = \frac{8,1 \times 1200}{1,25} - 1200 = 6576 \Omega. \quad (3.6)$$

Hodnota odporu  $R_2$  by tedy měla být vyšší než tato vypočítaná hodnota. [12]

Pro výsledný návrhu nabíjecího obvodu budou použity tyto parametry a hodnoty součástek:

- Napájecí napětí  $U_I = 24 \text{ V}$
- Rezistory  $R_1 = 1,2 \text{ k}\Omega$  a  $R_2 = 8,4 \text{ k}\Omega$ , nastavené napětí výstupu  $U_O = 10 \text{ V}$
- Výstupní zátěž akumulátorů  $R_L = \sim 0,1 \Omega$ , očekávaný výstupní proud  $I_O = 1 \text{ A}$
- Všechny ostatní součástky budou použity s doporučenými hodnotami

## **Stabilizace napětí pro napájení logického obvodu**

Pro napájení logické části obvodu je potřeba dodat napětí  $5 \text{ V}$ . Jelikož bude zdroj nabíjecího proudu zkonstruován pomocí regulovatelného spínaného zdroje TS34063, je možné obvod použít i pro napájení logiky. Jak už bylo zmíněno, výstupní napětí je řízeno odporovým napěťovým děličem, takže dojde pouze ke změně rezistoru. Zapojení pro výstupní napětí  $U_O = 10 \text{ V}$  je zobrazeno na obr. 3.1.

## **Volba napájecího adaptéru**

Před zakoupením napájecího adaptéru je v první řadě zapotřebí spočítat, jaké bude mít nabíječ při maximálním možném zatížení výkonové požadavky.

Maximální příkon stabilizátoru 7805 pro napájení logické části nabíječe bude dána maximálním výstupním proudem  $I_O = 1 \text{ A}$  a výstupním napětím  $U_O = 5 \text{ V}$ . Podle obecného vzorce na výpočet výkonu:

$$P_{MAX} = U_I \times I_I, \quad (3.7)$$

a vlastností stabilizátoru lze stanovit s dostatečnou rezervou hodnotu  $P_{MAX} = 5 \text{ W}$ .



Předpokládaný dodávaný proud bude v řádech desítek mA, takže pokud nedojde k poruše neměl by obvod tuto hodnotu nikdy překročit.

Z důvodu dobré účinnosti nabíjecího obvodu při dané hodnotě, bude adaptér dodávat napájecí napětí  $U_I = 24\text{V}$ . Na výstupu jednoho obvodu budou hodnoty veličin  $U_O = 10\text{V}$  a  $I_O = 1\text{ A}$ . Při účinnosti kolem 80% může být stanoven jeho maximální příkon i s dostatečnou rezervou  $P_{MAX} = 15\text{ W}$ .

Příkon celého zařízení bude jednoduše součtem všech dílčích obvodů:

$$P_{MAX} = P_{log} + 6 \times P_{nab} = 5 + 6 \times 15 = \mathbf{95\text{ W}}. \quad (3.8)$$

Z těchto vypočítaných hodnot byl vyplývá že napájecí adaptér by měl být schopen dodávat proud  $I_{DC} = 4\text{ A}$  a napětí  $U_{DC} = 24\text{ V}$ .

## 3.2 Senzorový obvod

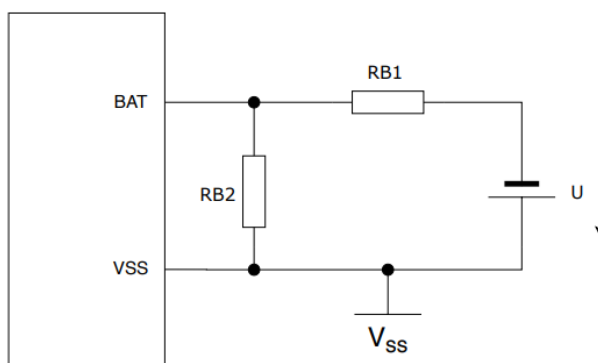
Nabíječ by měl být vybaven obvody, sledující důležité veličiny v průběhu nabíjení. Důvodem je zabezpečení správného nabíjecího cyklu pro baterii. V žádném případě by nemělo dojít k přílišnému přebíjení, protože může dojít k poškození nejenom akumulátoru, ale i samotného nabíječe. Taky by se mělo zamezit nedostatečnému nabití, které způsobuje zkrácení životnosti baterie.

Při nabíjení musíme sledovat tyto nejdůležitější veličiny:

- Napětí akumulátoru – při nabíjení se tato hodnota zvyšuje a na konci nabíjecího cyklu se jeho hodnota nepatrně sníží
- Nabíjecí proud – v návrhu bude použito nabíjení podle charakteristiky **I** s konstantním proudem, takže tuto hodnota nemusí být měřena
- Teplota akumulátoru – může být zvýšena různými vlivy, např. plné nabití / přebíjení, příliš velký nabíjecí proud nebo díky poruše

### Měření napětí akumulátoru

Provádí se pomocí vhodného děliče napětí. Nejjednodušší je použít klasického odporového děliče se dvěma rezistory. Hodnoty rezistorů by měli být zvoleny co možná nejvyšší, aby se zabránilo příliš velkému výkonovému zatížení. Na obr. 3.2 je zobrazen jednoduchý dělič pro měření napětí jednoho článku v bateriovém bloku.



Obr. 3.2 - Příklad zapojení odporového děliče pro měření napětí akumulátoru. [13]

Napětí na odporu  $RB2$  je dáno podle vzorce:

$$U_{RB2} = U_{BAT} \times \frac{RB2}{RB1+RB2}. \quad (3.9)$$

Pokud bude měřeno napětí jednoho ze šesti článků v baterii, musí být dělicí poměr 1:5. Znamená to, že hodnota odporu  $RB1$  musí být 5x vyšší než hodnota odporu  $RB2$ . Po dosazení do vzorce dostaneme:

$$U_{RB2} = 8,1 \times \frac{100 \times 10^3}{100 \times 10^3 + 500 \times 10^3} = 1,35 \text{ V}. \quad (3.10)$$

Právě s hodnotou napětí jednoho článku pracuje řídicí obvod BQ2002, který bude zmíněn v následující části. Hodnoty rezistorů by měli být v řádech stovek kiloohmů.

### 3.3 Řídicí obvod

Tato část nabíječe bude řídit a monitorovat průběh celého nabíjení všech akumulátorů a zajišťovat komunikaci s počítačem pomocí USB. Pomocí řídicího obvodu bude také možné nastavit důležité parametry pro nabíjení (časovač, přerušení). Dále bude obvod dostávat informace o stavu nabíjených akumulátorů ze sensorového obvodu. Tyto informace pak bude vyhodnocovat a podle potřeby tak upravovat nabíjecí cyklus.

Dílčí části řídicího obvodu:

- Obvod pro řízení nabíjení (manager) – dostává signály přímo od senzorů a na jejich základě upravuje nabíjecí cyklus
- Mikrokontroler – slouží pro nastavení parametrů nabíjení a pro zobrazování důležitých informací na display
- Obvod pro komunikaci s PC – slouží pro nahrávání firmwaru do mikrokontroleru

### Volba vhodného obvodu pro řízení nabíjecího cyklu

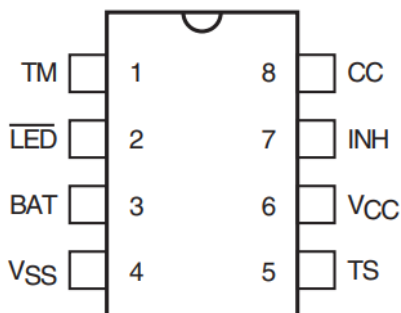
O možných metodách ukončení nabíjení se zmiňuje 2 kapitola této práce. Navržený nabíječ by měl být schopen ukončit nabíjení, alespoň podle maximální dosažené teploty (metoda TCO). Ideální by také bylo použít metodu poklesu napětí a nárůstu teploty.

Kromě ukončení nabíjení pomocí časovače, obvod BQ2002 zahrnuje všechny tyto zmíněné metody. Proto byl tento obvod vybrán pro řízení nabíjení.

## Obvod BQ2002

### Hlavní funkce a přednosti:

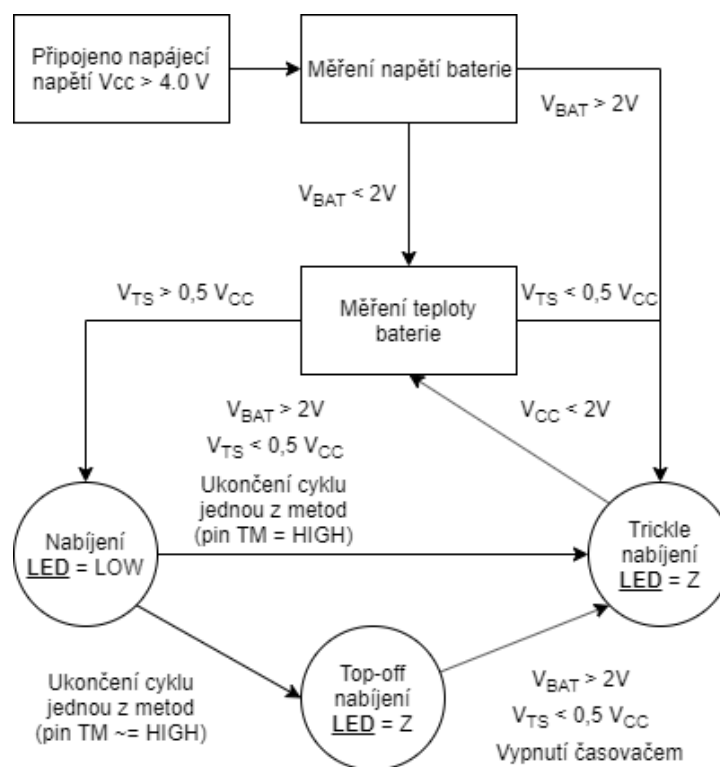
- Rychlé a zrychlené nabíjení NiHM akumulátorů
- Ukončení nabíjení metodou  $-\Delta V$ , maximálního napětí, maximální teploty a pomocí časovače
- Trickle a top-off nabíjení po dokončení nabíjecího cyklu
- Nízká spotřeba energie při provozu
- Nízká pořizovací cena



Obr. 3.3 - Obvod BQ2002 s popisem pinů. [13]

### Popis pinů:

- **TM** – Pin časovače - Tříúrovňový vstup, který řídí nastavení vnitřního časovače.
  - Pokud je nastaven na úroveň HIGH (napětí  $V_{cc}$ ), obvod bude ukončovat nabíjení pomocí metody  $-\Delta V$ .
  - Pokud je nastaven na úroveň LOW (přiveden na zem), dojde k ukončení nabíjení detekcí maximálního napětí.
  - Pokud je nastaven na úroveň MID (napětí  $V_{cc}/2$ ), dojde k ukončení nabíjení detekcí maximálního napětí nebo po uplynutí určitého času.
- **LED** – Výstupní pin pro zapojení LED pro indikaci nabíjení. Při nabíjení je tento pin sveden na zem. Při ukončení nebo přerušení nabíjení je pin v režimu high-Z.
- **BAT** – Vstup pro snímání napětí jednoho akumulátoru. Pro nabíjení více článků je nutno použít dělič napětí.
- **Vss** – Pin pro přívod na společnou zem (GND)
- **TS** – Vstup pro termistor snímající teplotu akumulátoru.
- **CC** - Výstupní pro řízení nabíjecího obvodu. Při nabíjení je tento pin v režimu high-Z (rozpojen). Při ukončení nebo přerušení nabíjení je tento pin sveden na zem.
- **Vcc** – Pin pro přívod napájecího napětí (+5V)
- **INH** – Pin pro přerušení nabíjení. Pokud je pin nastaven na HIGH, dojde k přerušení nabíjení. Pokud pin bude vrácen na zpět na LOW, nabíječ pokračuje v nabíjení.



Obr. 3.4 - Stavový diagram nabíjení obvodu BQ2002. Inspirováno z [13]

Na obr. 3.4 je stavový diagram popisující funkci nabíjení obvodu BQ2002. Jak lze vidět obvod může být ve 3 různých stavech. Nejdůležitějším stavem je nabíjení. Do toho stavu se dostane má-li na vstupech pro měření teploty a napětí akumulátoru požadované hodnoty.

Obvod měří hodnoty každých 17s. Při měření je odebráno 32 vzorků a vypočítán jejich průměr.

Tabulka 3.3 - Hodnoty pro různá nastavení pinu TM na obvodu BQ2002. [13]

Logická úroveň na pinu TM	Nastavení časovače	Odpovídající nabíjecí proud	Top-off nabíjecí proud	Trickle nabíjecí proud
MID	320 minut	0,5 C	C/32	C/64
LOW	80 minut	1 C	C/16	C/64
HIGH	40 minut	2 C	-	C/32

Jelikož požadovaný nabíjecí proud je pro tento navrhovaný nabíječ 0,5 C, je nutné, podle tabulky 3.4, nastavit na pin TM logickou úroveň MID, což odpovídá hodnotě 0,5 V<sub>CC</sub>. [13]

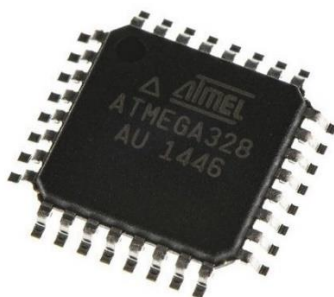
## **Mikrokontroler ATmega328P**

Pro nastavení parametrů a ovládání nabíjení je potřeba vybrat vhodný mikrokontroler, který bude schopný splnit následující požadavky:

*\* Digitálním pinem je pin, pracující s logickými hodnotami HIGH/LOW. Analogový pin je pin, který vhodným použitím ADC nebo DAC konvertorů dokáže pracovat s různými hodnotami napětí.*

- Dostatečný počet I/O pinů pro ovládání nabíjecího obvodu:
  - 6 vstupních digitálních pinů pro příjem stavu nabíjení
  - 4 vstupní digitální piny pro ovládání pomocí tlačítek
  - 1 výstupní digitální pin pro vypnutí/zapnutí nabíjecího proudu
  - 1 výstupní digitální pin pro přerušení nabíjení
  - 1 výstupní analogový pin pro nastavení časovače (3 stavy)
  - 2 piny pro komunikaci pomocí sériové linky (UART)
  - 2 piny pro display (I2C)
- Snadné programování a nahrávání nového firmwaru
- Dostatečný výkon pro zobrazení informací na display
- Možná komunikace po rozhraní I2C a UART

Byl vybrán mikrokontroler ATmega328P, který splňuje všechny výše zmíněné požadavky. Jedná se o 8-bitový mikrokontroler od firmy Atmel. Má 14 vstupně/výstupních digitálních pinů a 8 vstupně/výstupních analogových pinů. Lze jej snadno programovat v jazyce C pomocí programu AVR Studio nebo Arduino IDE. Má dostatečný výpočetní výkon (16 milionů instrukcí za sekundu). Disponuje rozhraním I2C, SPI a UART. Lze jej napájet napětím +5V, které bude k dispozici ze stabilizátoru. Pro připojení k počítači je potřeba navázat komunikaci po sériové lince. [14]



Obr. 3.5 - Mikrokontroler Atmel ATmega328P pro SMT montáž

### **3.4 Zobrazení informací a ovládání**

Aby bylo možné kontrolovat a nastavovat parametry nabíjení, je nutné mít přehled o aktuálním stavu nabíječe. Pro tento účel bude sloužit externí displej. Pro zadávání parametrů budou u displeje nainstalovány ovládací tlačítka.

## 4 REALIZACE

Pro návrh schéma a později návrh desky plošných spojů byl použit návrhový program Autodesk EAGLE verze 9.5.0. Výhody tohoto programu jsou jednoduchá a efektivní práce v schématickém návrháři, velké množství knihoven se součástkami a možnost importu/tvorby vlastních knihoven, možnost vlastní optimalizace prostředí (barvy, klávesové zkratky, nástroje, ...).

Do programu byly nejdříve importovány všechny potřebné knihovny s obvody neobsaženými v základní nabídce programu.

Poté bylo nutné navrhnout schéma zapojení všech obvodů zvlášť (měniče, managery nabíjení, mikrokontroler, spínače MOSFET. Při návrhu byly pro přehlednost použity

Při návrhu bylo uvažováno, že všechny prvky budou pro povrchovou montáž (SMT). Důvodem byl lepší odvod tepla součástek, menší rozměrové požadavky, menší a jednodušší výsledná DPS. Pro všechny pasivní součástky byly zvoleny velikosti 0805 (kromě elektrolytických kondenzátorů), pro všechny diody pouzdro 403A a pro všechny obvody (kromě mikrokontroleru) SO-8 nebo SOIC-8.

### 4.1 Použitý napájecí zdroj a krabička

#### Napájecí zdroj

V kapitole 3.1 byl vypočten maximální předpokládaný příkon obvodu jehož hodnota může dosáhnout až  $P = 95 \text{ W}$ . Proto byl vyhledáván zdroj, který by byl schopen dodat alespoň takto velkou výkonovou hodnotu. Dále bylo nutné zajistit pro co nejlepší účinnost spínaného zdroje MC34063 v zapojení step-down, kterou výrobce stanovil pro vstupní napětí  $U_I = 24 \text{ V}$ .

Po delším zkoumání možných komerčních variantách takového zdroje s danými parametry, byl vybrán zdroj určený pro napájení LED pásek. Jedná se o spínaný síťový zdroj značky MEAN WELL s parametry:

- Vstupní napětí AC: 90 až 264 V,
- Výstupní napětí: 24 V,
- Výstupní proud: 4,2 A,
- Skutečný výkon: 100,8 W,
- Účinnost: 86 %,
- Integrované ochrany: Přetížení, zkrat, přepětí,
- Hmotnost: 0,63 kg,
- Rozměry: 190 x 52 x 37 mm.

Tento zdroj by také vybrán pro své vhodné rozměry, které se vlezou do vybrané krabičky pro uzavření obvodu. Vybraný zdroj lze pozorovat na obr. 4.1. [20]



Obr. 4.1 - Vybraný napájecí zdroj značky MEAN WELL 24 V/100 W. [20]

### **Přístrojová krabice**

Byla vybrána běžně používaná plastová čtyřdílná přístrojová krabice. Důvodem pro výběr právě této krabice byly ideální dost velké rozměry pro zdroj, dostatek místa pro DPS uvnitř krabice, dobrá modifikovatelnost a dostatek místa pro další vstupní i výstupní periferie (síťový konektor, displej, tlačítka, ...). Vybraná krabice je na obr. 4.2. Parametry vybrané krabice:

- Materiál: polystyren,
- Rozměr A (výška): 90 mm,
- Rozměr B (šířka): 250 mm,
- Rozměr C (hloubka): 149 mm.

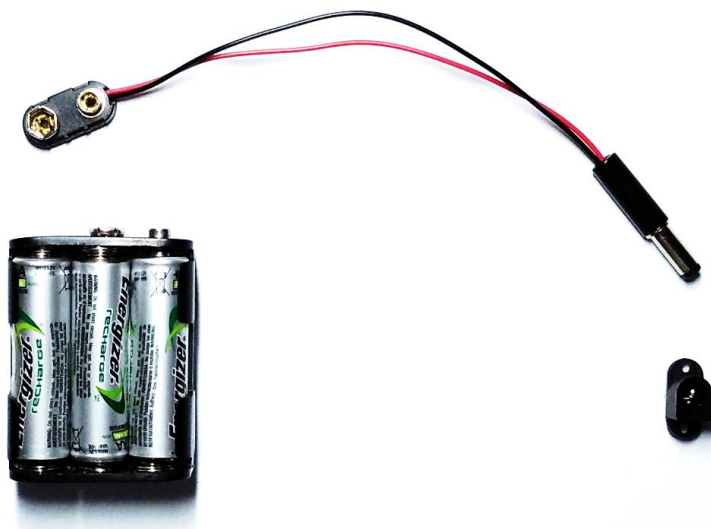


Obr. 4.2 - Vybraná přístrojová krabice pro uložení zdroje, DPS a periferií. [21]

## 4.2 Výběr vhodných periférií

### Konektory baterií

Bateriové bloky, které bude navrhovaný nabíječ nabíjet, se vyrábějí s klasickým konektorem pro 9 V baterie. Pro účely napájení žákovských projektů se na tento konektor zhotovili redukce na jedné straně s 9 V protikusem a souosým DC konektorem (F) o rozměrech 5,5 mm/2,5 mm na straně druhé. Důvodem je přímé připojení do vývojových desek Arduino, které jsou pro zmiňované účely používány. Podmínkou bylo tedy použít stejný napájecí souosý konektor vhodný pro montáž do panelu, který bude protikusem (M) pro zmiňovaný DC konektor 2,5 mm/2,5 mm.



Obr. 4.3 - Bateriový blok, redukce 9 V na souosý DC konektor (M) a souosý protikus (F)

### Síťový konektor a vypínač

Pro vstup napětí ze sítě (230 V) do napájecího zdroje byl použit klasický síťový napájecí konektor EURO C14, hojně používaný pro standartní zdroje pro PC nebo laboratorní techniku. K vypínači byl přidán kolébkový vypínač vhodný pro síťová napětí až do proudu 1 A. Jelikož výsledná krabička nebude mít žádný vnější kovový obal a nepotřebuje tak přívod země, bylo by vhodnější použít dvou pinový konektor. Pro účely funkčního modelu nabíječe však toto zapojení postačí.



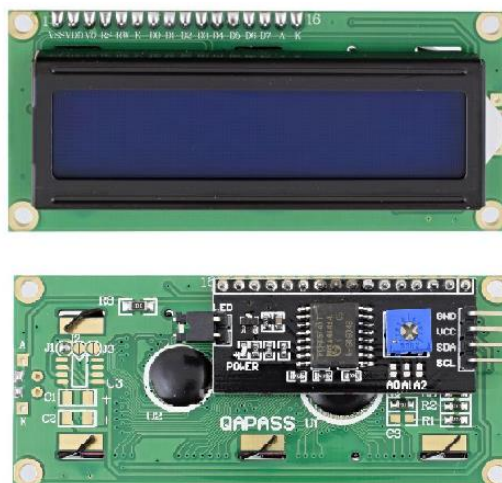
Obr. 4.4 - Síťový konektor 230 V a kolébková vypínač. [22], [23]



## Displej

Správné nastavení nabíjecího obvodu vyžaduje, aby byl nabíječ opatřen zobrazovacím zařízením. Jelikož nabíječ bude řízen mikrokontrolerem, je příhodné použít digitální displej. Bylo projednáno několik variant displejů, které by pro tuto situaci byly vhodné. Jako komunikační rozhraní byla zvolena sériová sběrnice I2C, jelikož ke komunikaci je nutné použít pouze dva datové vodiče a dva vodiče pro napájení. První navrhnutý displej byl typu OLED a měl rozměry 0,9 palce při rozlišení 128x32 pixelů. Tento displej nakonec nebyl použit, jelikož byl pro tyto účely nevyhovující (příliš malé rozměry, složitější ovládání mikrokontrolerem, složitá montáž do panelu). [16]

Nakonec byl pro nabíječ zvolen klasický LCD dvojřádkový displej typu 1602, který dokáže zobrazit až 32 znaků současně. Jelikož tyto displeje jsou běžně vyráběny pouze se 16 pinovou sběrnicí, byl koupen displej již s nainstalovaným převodníkem na I2C sběrnici. Počet znaků je dostačující pro zobrazení potřebných informací. K displeji lze velmi jednoduše napsat program v programu Arduino ISP, jehož součástí je i knihovna funkcí pro řízení tohoto displeje. [22] [23]



Obr. 4.5 - LCD displej 16x02 s podsvícením a I2C převodníkem. [23]

## Tlačítka

Pro nastavení nabíjecích parametrů je nutný uživatelský vstup, který je zajištěn třemi tlačítky. Prvním černým tlačítkem je volen nastavovaný parametr, druhým černým tlačítkem je volena hodnota parametru a třetím červeným tlačítkem je přepínán pracovní mód nabíječe (START/nastavení). K tomuto účelu byly vybrány jednopólové tlačítkové spínače do panelu.



Obr. 4.6 - Jednopólový tlačítkový spínač pro montáž do panelu. [26]

## **Složená krabička se všemi periferiemi**

Jakmile byli vybrány všechny periferie pro nabíječ, bylo nutné je rozmístit. První byl umístěn zdroj uvnitř krabičky. Byl upevněn dvěma šrouby ke spodní části blíže zadnímu panelu, aby zbyl dostatek místa pro periferie na předním panelu. Na předním panelu byly vyřezány otvory pro vsazení displeje, tlačítek a konektorů na baterie. Na zadním panelu byly vyřezány otvory pro vypínač a síťový konektor. Výsledné provedení lze vidět na obr. 4.7.



Obr. 4.7 - Přední a zadní panel nabíječe osazený všemi periferiemi

## **4.3 Schématický návrh obvodu**

### **Návrh spínaného zdroje pro logickou část obvodu**

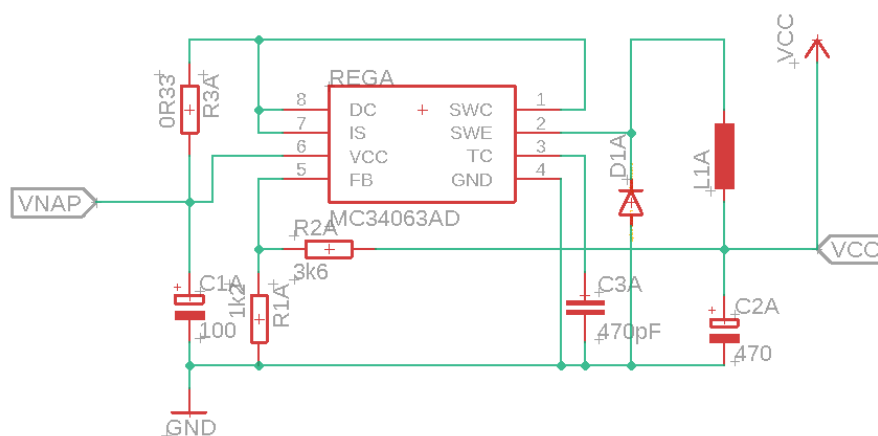
Při návrhu zapojení bylo pracováno s hodnotami vypočtenými v kapitole 3.1. Pouze bylo přepočteno pár hodnot, aby byl výsledný obvod realizovatelný s běžnými hodnotami součástek.

Nejdříve bylo nutné stanovit maximální výstupní proud, pro logický obvod a napájení displeje. Ten by neměl přesáhnout hodnotu vyšší než  $I_O = 100 \text{ mA}$ , což dělá maximální spotřebu logického obvodu kolem  $P = 0,5 \text{ W}$ . Limit výstupního proudu se provede nastavením rezistoru  $R_{SC}$  v zapojení na obr. 3.1. Hodnota se vypočte podle vzorce: [12]

$$R_{SC} = \frac{0,3}{2 \times I_{OUT(max)}} = \frac{0,3}{2 \times 0,1} = \frac{0,3}{0,2} = 1,5 \, \Omega. \quad (4.1)$$

Maximální hodnota tohoto odporu je tedy  $R_{SC} = 1,5 \, \Omega$ . Byla však zvolena nižší hodnota odporu  $R_{SC} = 1 \, \Omega$ , pro vyšší proudovou rezervu. Dalším problémem je hodnota odporu  $R_2 = 3,6 \, k\Omega$ . Místo této hodnoty byla vybrána hodnota  $R_2 = 3,2 \, k\Omega$ , která způsobí trochu menší výstupní napětí ( $U_O = 4,7 \, V$ ), což ale nebude mít vliv na běžnou funkci logického obvodu. Hodnota ostatních prvků byla ponechána na doporučených hodnotách. Jako Schottkyho dioda byla zvolena MBRS140T3G (1 A, 40 V) [19].

Výsledné zapojení v programu EAGLE lze pozorovat na Obr. 4.8



Obr. 4.8 - Zapojení měniče napětí pro logický obvod v programu EAGLE

## Návrh nabíjecích obvodů

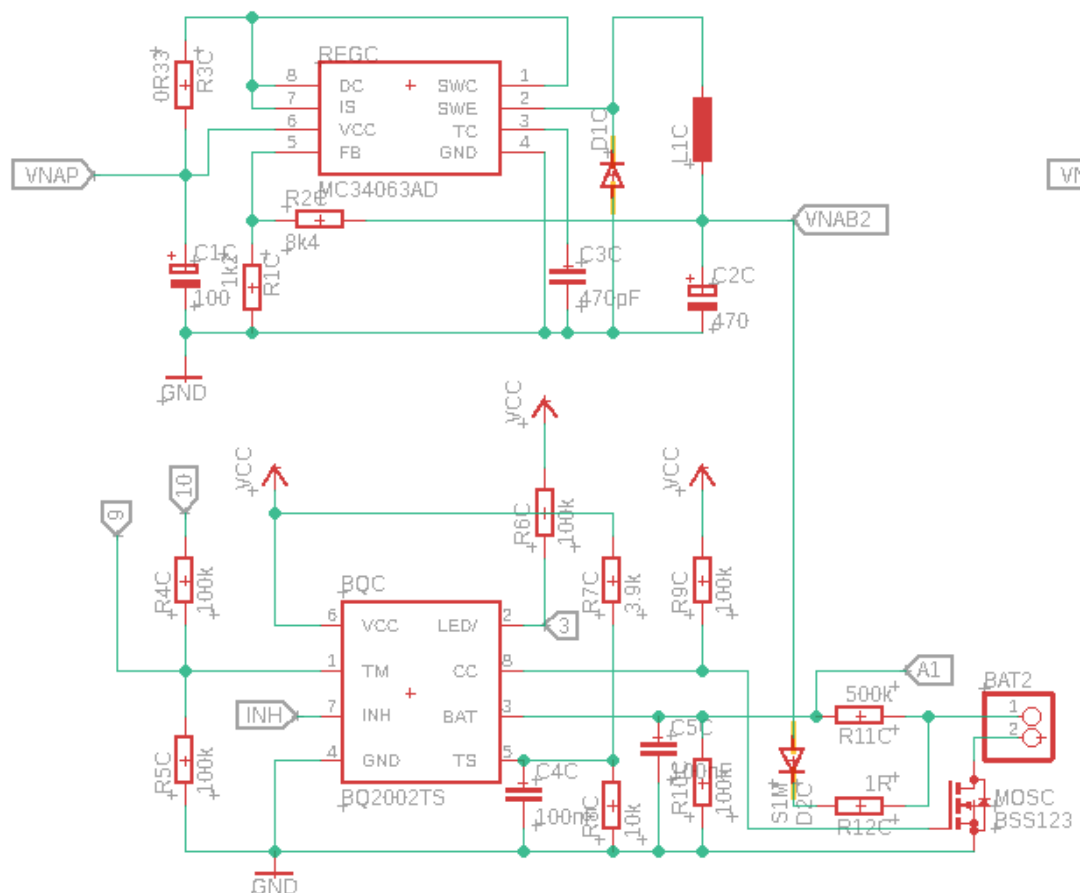
Pro návrh měničů napětí bylo postupováno stejně jako při návrhu měniče pro logický obvod. Pouze bylo nutné počítat s vyššími proudy na výstupu. Opět byly použity výpočty z kapitoly 3.1. Díky použití stejného obvodu bylo možno pouze upravit proud ve vzorci. Požadovaný proud je až  $I_O = 1 \, A$ , takže hodnotu stanovíme následovně:

$$R_{SC} = \frac{0,3}{2 \times I_{OUT(max)}} = \frac{0,3}{2 \times 1} = \frac{0,3}{2} = 0,15 \, \Omega. \quad (4.2)$$

Bohužel při odzkoušení této hodnoty bylo zjištěno, že obvod nepracuje s požadovanou účinností a dochází k nadměrnému přehřívání spínaného zdroje. Proto byla zvolena poloviční hodnota výstupního proudu  $I_O = 0,5 \, A$ , což odpovídá hodnotě odporu  $R_{SC} = 0,3 \, \Omega$ . Tato hodnota je dostačující pro nabití naprosto vybité baterie do 4 h.

Hodnota druhého odporu v děliči byla stanovena tak, aby na výstupu bylo napětí vyšší než to, co je na akumulátoru. V návrhu bylo počítáno s hodnotou  $R_2 = 8,4 \, k\Omega$ , což ale není standardní používaná hodnota, takže byla použita nejbližší vyhovující hodnota odporu  $R_2 = 8,2 \, k\Omega$ .

$$U_O = 1,25 \times \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) = 1,25 \times \left(1 + \frac{8200}{1200}\right) = 9,8 \, V. \quad (4.3)$$



Obr. 4.9 - Výsledné schématické zapojení jednoho nabíjecího obvodu

Na obrázku 4.9 lze pozorovat ve vrchní části (obvod označen REGC) zapojení spínaného zdroje nastaveného, jak už bylo zmíněno, na  $U_o = 9,8 \text{ V}$  a maximální proud  $I_o = 0,5 \text{ A}$ . V návrhu byly použity pro označení signálových větví pro lepší přehlednost. Význam signálových značek:

- VNAP – napětí z hlavního napájecího zdroje (+24 V)
- VNAB – výstupní napětí ze spínaného měniče (+9,8 V)
- VCC – napětí pro logiku (+5 V)
- A1 – analogový signál do mikrokontroleru pro získání napětí baterie
- INH – signál z mikrokontroleru řídící přerušování nabíjení
- 3 – signál pro indikaci stavu nabíjení
- 9,10 – signály pro nastavení časového limitu přerušování nabíjení

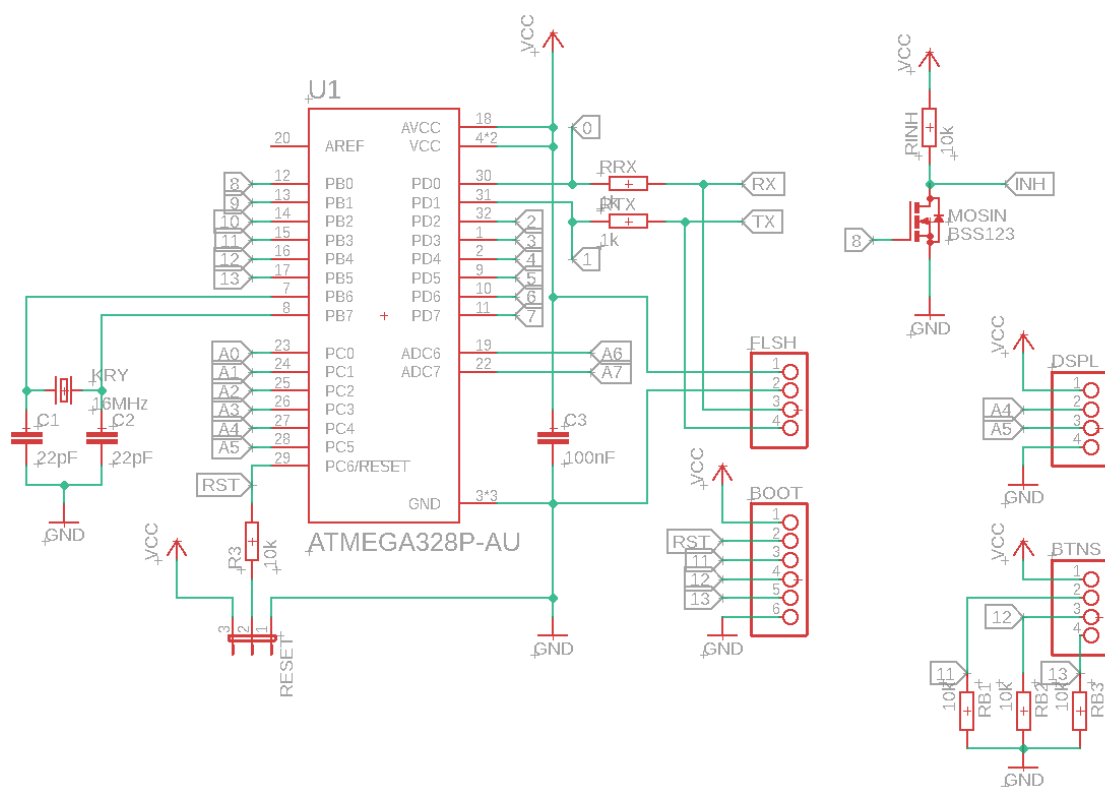
Oba obvody jsou zapojeny podle doporučených zapojení, které lze nalézt v jejich katalogových listech [12], [13]. Napětí z připojeného akumulátoru je nutné oddělit od výstupu regulátoru pomocí usměrňovací diody D2. Byla použita výkonová křemíková dioda S1M. Rezistory R4 a R5 slouží jako dělič napětí pro nastavení časového limitu. Rezistory R6 a R7 slouží jako dělič pro nastavení fixní hodnoty pro hlídač teploty uvnitř obvodu BQ2002. Hodnota je nastavena na fixní hodnotu stanovenou výrobcem, jelikož není nutné hlídat teplotu akumulátoru, protože dojde k ukončení nabíjení jinými způsoby.

Pro řízení odpojení a připojení baterie od obvodu je zde MOSFET tranzistor, řízený pomocí signálu CC z obvodu BQ2002. Byl vybrán MOS tranzistor s N kanálem.

Rezistor R12 slouží jako dodatečný proudový limit pro nabíjecí proud. Bylo experimentováno s několika hodnotami odporu. Nejlepších výsledků bylo dosaženo s hodnotou  $R12 = 2\Omega$ . Je důležité tuto hodnotu zvolit správně, aby nedocházelo k nadměrnému napěťovému zatěžování diody D2. Napětí bateriového bloku se pohybuje zhruba v rozmezí 7 - 8,5 V, nabíjecí napětí je 9,8V. Úbytek na křemíkové diodě je asi 0,6 V, a úbytek napětí mezi drainem a sourcem na zvoleném tranzistoru je kolem 0,2 V což znamená, že na odporu R12 je napětí v rozmezí  $U_{R2} = 0,5 - 2V$ . To odpovídá teoretickému nabíjecímu proudu  $I_{NAB} = 0,25 - 1 A$ , záleží na hodnotě nabití baterie. Méně nabité baterie budou nabíjeny větším proudem a více nabité baterie proudem nižším.

## Návrh zapojení mikrokontroleru

Mikrokontroler byl zapojen podle doporučení výrobce. Byl zvolen 16 MHz krystal hodinového signálu. Schématické zapojení je na obr. 4.10.



Obr. 4.10 - Schématické zapojení mikrokontroleru ATmega328P

Názvy signálových větví byly pojmenovány stejně, jako na desce Arduino pro lepší orientaci v návrhu. Digitální piny jsou nazvány číslem 0 až 13, analogové piny jsou nazvány A0 až A7 a resetovací pin je nazván RST.

Piny 0 a 1 jsou použity pro sériovou komunikaci při nahrávání programu a jsou připojeny spolu s napájecím napětím VCC a zemí GND na vývody nazvané FLSH, sloužící pro připojení k externímu převaděči ze sériové komunikace na USB.

Jelikož je nutné na mikrokontroler nejdříve nahrát zavaděč, aby bylo možné

programování v rozhraní Arduino ISP, byly zhotoveny vývody nazvané BOOT, které zahrnují digitální piny 11,12,13 a resetovací pin RST. Také bylo vyvedeno napájecí napětí VCC a zem GND. Tento vývod po nahrání zavaděče má čistě testovací účely a nebude se podílet na funkci nabíječe.

Zmíněné digitální piny 11,12 a 13 byly dále použity na ovládací tlačítka, kde dojde k nastavení pinu na logickou hodnotu HIGH při sepnutí. Digitální pin 8 slouží k ovládání přerušování nabíjení. V konečném zapojení nebyl použit tranzistor MOSIN, který lze pozorovat ve schématu, ale signál INH byl připojen přímo na pin 8.

Analogové piny A0, A1, A2, A3, A6 a A7 byly zvoleny pro monitorování napětí na akumulátorech. Analogové piny A4 a A5 slouží pro I2C komunikaci s displejem.

## 4.4 Návrh desky plošných spojů (DPS)

### Volba technologie montáže

Při návrhu desky plošných spojů bylo nejdříve potřeba zjistit několik důležitých věcí. První věcí byla správná volba technologie montáže. Výhodou montáže s drátovými vývody (THT) je lepší robustnost a odolnost proti mechanickému opotřebení (otřesy), což v tomto případě není potřeba, jelikož se bude jednat o stacionární laboratorní přístroj. Bylo zvoleno kombinované zapojení s povrchovou montáží součástek, protože má proti TH technologii mnohé výhody (lepší odvod tepla, jednodušší návrh desky, menší rozměry součástek). TH technologií byly udělány vývody pro programování mikrokontroleru, a vývody pro připojení periférií a konektorů, které mohou být podrobeny mechanickému opotřebení.

### Volba rozměrů a návrhových pravidel

Před zvolením rozměrů desky, rozměrů spojů a mezer mezi nimi je důležité zvolit si výrobce, u kterého bude deska vyrobena. Každý výrobce má stanovená různá návrhová pravidla určující jejich výrobní schopnosti. Těchto pravidel je nutné se při návrhu držet. Spousta návrhových programů má v sobě možnost nastavení tolerančních hodnot jako je šířka spoje, mezera mezi spoji, vzdálenost a rozměry prokovů. Tyto toleranční hodnoty jsou poté dodržovány při tvorbě spojů automaticky (DRC).

Pro výrobu desky byl vybrán Hong Kongský výrobce desek © JLCPSB. Jedná se o ověřeného výrobce, který nabízí kvalitní produkty za příznivé ceny s možností doručení výrobku do 10 pracovních dnů. Také nabízí velmi jednoduché možnosti objednání přes webovou stránku, kde stačí pouze nahrát GERBER soubor s vlastním projektem a lze si dále zvolit další různé možnosti výroby. Tento výrobce má své toleranční hodnoty uvedené na svých internetových stránkách. [27]

Díky známým proudům, které budou protékat obvodem bylo možné vypočítat všechny potřebné šířky spojů na DPS. Výpočty byly ověřeny pomocí internetového kalkulátoru. [28] Pro návrh byla u výrobce zvolena větší tloušťka mědi  $h_{Cu} = 2 \text{ oz/ft}^2$  (unce na čtverečnou stopu). Jelikož se nepředpokládá, že bude obvodem protékat větší proud, než je maximální proud zvoleného zdroje  $I_{IN} = 4 \text{ A}$ , byl vypočítán rozměr vstupních vodičů z tohoto zdroje  $w = 40 \text{ mil} = 1,016 \text{ mm}$ . Pro maximální možný výstupní proud ze spínaných zdrojů  $I_{OUT} = 1 \text{ A}$  byla vypočítána hodnota  $w = 6 \text{ mil} = 0,152 \text{ mm}$ , ale s rezervou byla zvolena šířka vyšší  $w = 12 \text{ mil}$ . Všechny šířky mezi vodiči byly

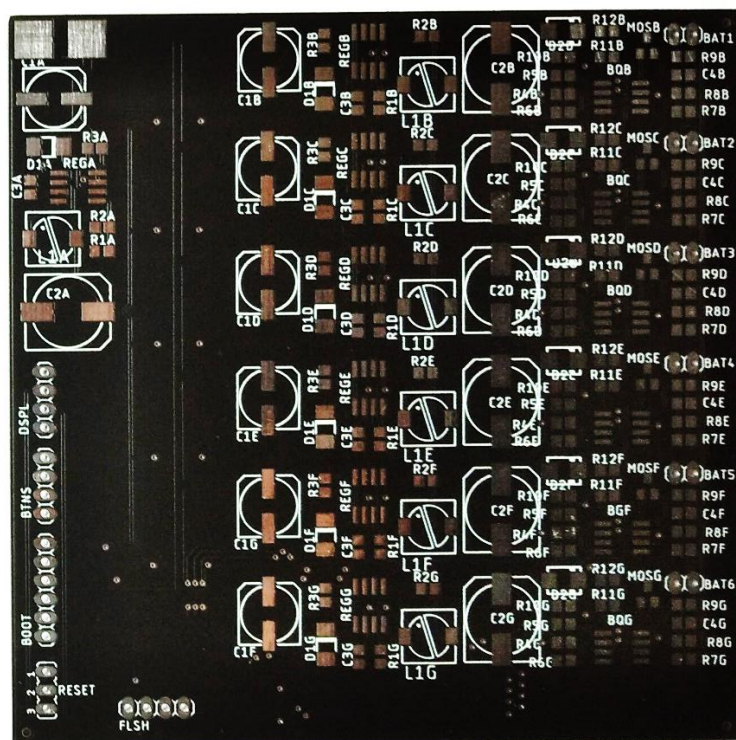


nastaveny na doporučenou hodnotu  $w = 6$  mil.

Dle stanovených hodnot byla navržena dvouvrstvá DPS vyrobená z FR-4 materiálu o rozměrech 100 x 100 mm. Byly zvoleny větší rozměry desky, aby byl zaručen dostatek místa pro všechny součástky.

### **Rozvržení a volba součástek**

Na vrchní stranu DPS byly umístěny všechny zdroje a managery nabíjení. Na spodní straně je umístěno zapojení mikrokontroleru. Jak už bylo zmíněno pro všechny pasivní součástky byly zvoleny velikosti 0805, pro všechny diody pouzdro 403A a pro všechny obvody SO-8 nebo SOIC-8. Elektrolytické kondenzátory byly vybrány podle dostupné hodnoty kapacity a jmenovitého napětí a jejich rozměry pak dosazeny do návrhových pravidel. Pouzdro zvoleného mikrokontroleru je TQFP-32. Všechny součástky jsou obsaženy v knihovnách programu EAGLE a nebylo je nutné importovat. Výsledný design desky plošných spojů je na obrázku v příloze A3.



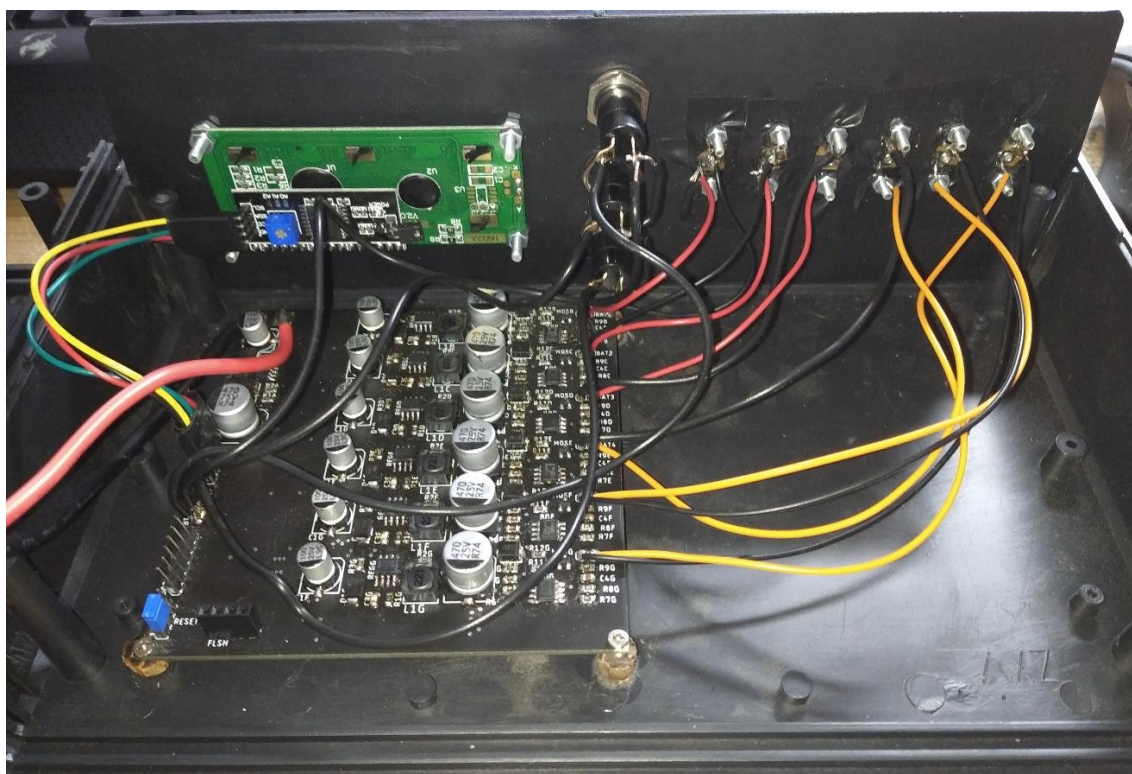
Obr. 4.11 - Ukázka vyrobené DPS - neosazená přední strana

Vyrobenou desku lze pozorovat na obr. 4.11. V levém horním rohu jsou plošky pro připojení napájecího zdroje. Pod ploškami se nachází spínaný zdroj pro logickou část obvodu. Ve středu se nachází 6 stejných spínaných zdrojů, které tvoří nabíjecí proud pro každý bateriový blok zvlášť. Na pravé straně ke každému zdroji patří ještě zapojení manageru nabíjení BQ2002.

## 4.5 Výsledné zapojení

### Upevnění desky a propojení s periferiemi

Deska byla upevněna pomocí šroubů, které byly našroubovány do přilepených dřevěných kolíků. Kolíky byly přilepeny epoxidovým lepidlem pro co nejlepší odolnost. Toto řešení poskytuje dostatečnou oporu a jednoduchou montáž a případnou demontáž desky. Periferie a zdroj byly přímo napájeny pomocí drátů na desku. Pouze displej je připojen pomocí odnímatelných drátů připojených na pinové lišty, což zaručí lepší manipulaci s deskou při případné opravě obvodu. Upevněná deska v krabici s připojeným zdrojem a všemi periferiemi je na obr. 4.12.



Obr. 4.12 - Upevněná osazená deska v krabici s připojenými periferiemi

### Programování nabíječe

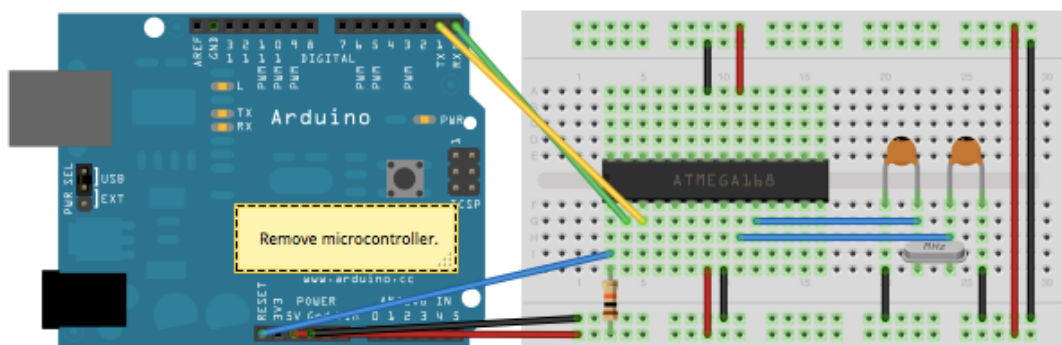
Pro programování mikrokontroleru bylo použito prostředí Arduino ISP, které používá zjednodušenou verzi jazyka C. Toto prostředí bylo vybráno pro svoji jednoduchost syntaxe, jednoduchému nahrání programu do mikrokontroleru a velké komunitní podpoře.

Před nahráním prvního programu však bylo nutné nejdříve vypálit Arduino zavaděč do paměti MCU. Proto byly vyvedeny už zmiňované piny 11,12,13 a RST. To se provádí připojením druhé desky Arduino podle pokynů na webu výrobce. [29]

Jakmile byl zavaděč úspěšně vypálen, je možné do MCU nahrát první program. Pro



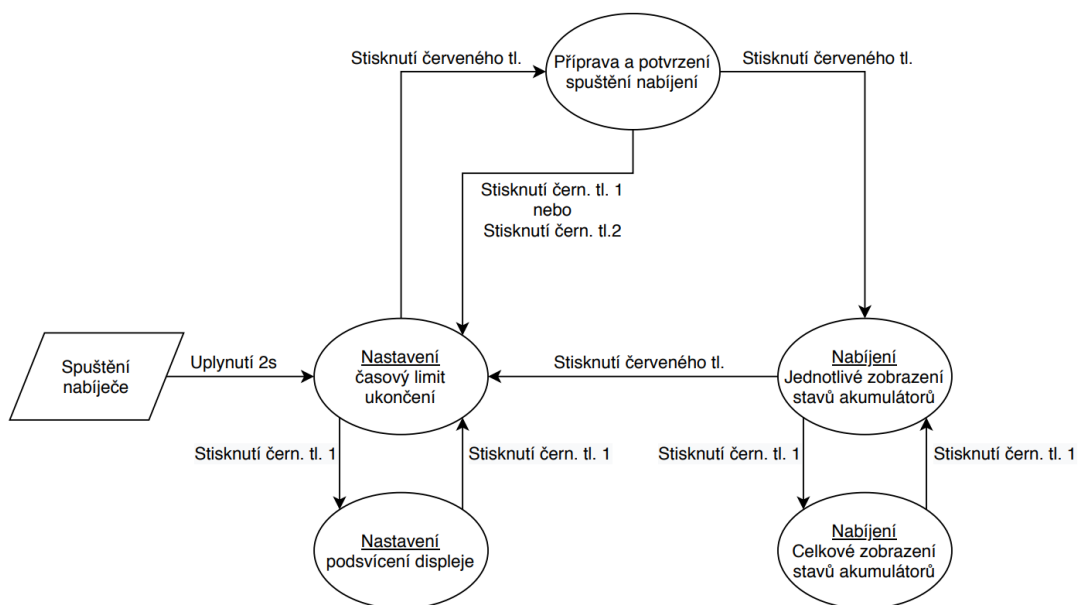
nahrávání programu byly vyvedeny piny 0 (RX) a 1 (TX), které slouží jako sériová komunikační linka. Program je možné nahrát připojením externího převodníku na USB nebo použitím převodníku na druhé desce Arduino. Při nahrávání programu u tohoto projektu byla použita druhá deska, ze které byl odpojen její mikrokontroler. Poté už stačí jen propojit korespondující piny na obou deskách (VCC, GND, RX, TX a RST). Program pro ovládání nabíječe bude zveřejněn v příloze této práce.



Obr. 4.13 - Příklad zapojení druhé desky pro nahrání programu. [29]

## Ovládání nabíječe

Program byl navrhnut jako stavový automat. Funkční schéma lze vidět na obr. 4.14.



Obr. 4.14 - Funkční stavový automat nabíječe

Prvním černé tlačítko (horní) slouží pro přepínání zobrazené veličiny. Druhé černé tlačítko (prostřední) slouží pro nastavení hodnot zobrazené veličiny. Červené (spodní) tlačítko slouží pro přepínání mezi režimy – nastavení/příprava/nabíjení. Příklady stavů zobrazené na displeji nabíječe jsou na obr. 4.15.

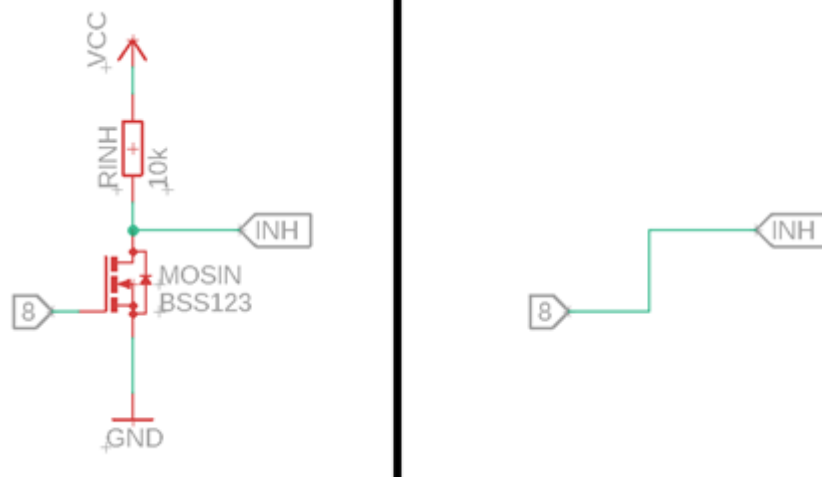


Obr. 4.15 - Displej nabíječe v různých režimech - nahoře režim přípravy, uprostřed režim nabíjení, dole režim nastavení

### **Problémy s návrhem**

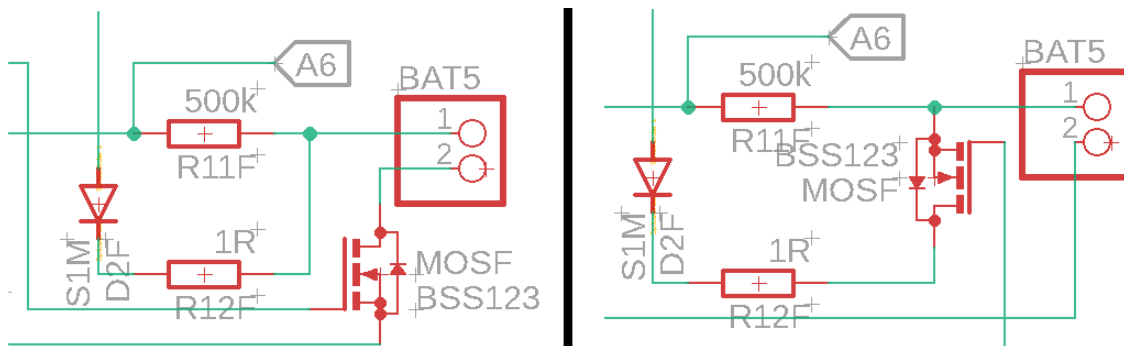
Bohužel byly při návrhu udělány chyby, které se promítli i do celkové funkčnosti nabíječe. Tyto chyby byly objeveny až při testování obvodu po nahrání programu.

První chybou je signál INH řízený tranzistorem MOSIN, který lze vidět ve schématu na obr. 4.10. Hodnota signálu INH zůstala i po sepnutí tranzistoru stejná. Rezistor a vývod signálu by měl být správně umístěn mezi GND a sourcem tranzistoru. Tranzistorový spínač měl být použit pro rychlé a napětově stabilní řízení přerušování nabíjení, ale při zkoušení se ukázalo, že nastavení digitálního pinu 8 na hodnotu HIGH lze docílit stejných výsledků. V konečném zapojení nebyl použit tranzistor, ale signál INH byl připojen přímo na pin 8, což zajistilo bezproblémový chod přerušování. Upravené zapojení na obr. 4.16.



Obr. 4.16 - Vlevo navržené zapojení, vpravo upravené zapojení

Dalším problémem je nemožnost zjistit napětí akumulátoru při nabíjení pomocí analogových pinů. Při designování bylo uvažováno o odpojení akumulátoru při dokončení nabíjení pomocí tranzistorového spínače, ale bylo při testech zjištěno, že tímto způsobem dojde také zamezení čtení napětí akumulátoru. Toto se ukázalo jako velký problém, který lze vyřešit pouze úpravou designu – zobrazeno na obr. 4.17. Při této úpravě bude docházet k odpojení nabíjecího proudu místo odpojení celého bateriového bloku.



Obr. 4.17 - Nutná úprava obvodu pro správnou funkci čtení napětí akumulátoru

## 4.6 Ukázka zapojení a měření

I navzdory chybám v zapojení zmíněným v předchozí kapitole je nabíječ schopen bezpečně nabít akumulátory. Ukončení nabíjecího cyklu je provedeno pomocí nastaveného časového limitu. Ke konci nabíjecího cyklu dosahuje nabíjecí proud hodnot kolem 0,2 A. Tato hodnota proudu je bezpečná a neměla by nijak způsobit poškození i při delším vystavení plně nabitému akumulátoru. Do nabíječe se dá připojit až 6 stejných bateriových bloků. K tomu slouží souosé konektory (nabíjecí terminály) na předním panelu nabíječe. Typické zapojení akumulátoru pro nabíjení nabíječem je na obr. 4.18.



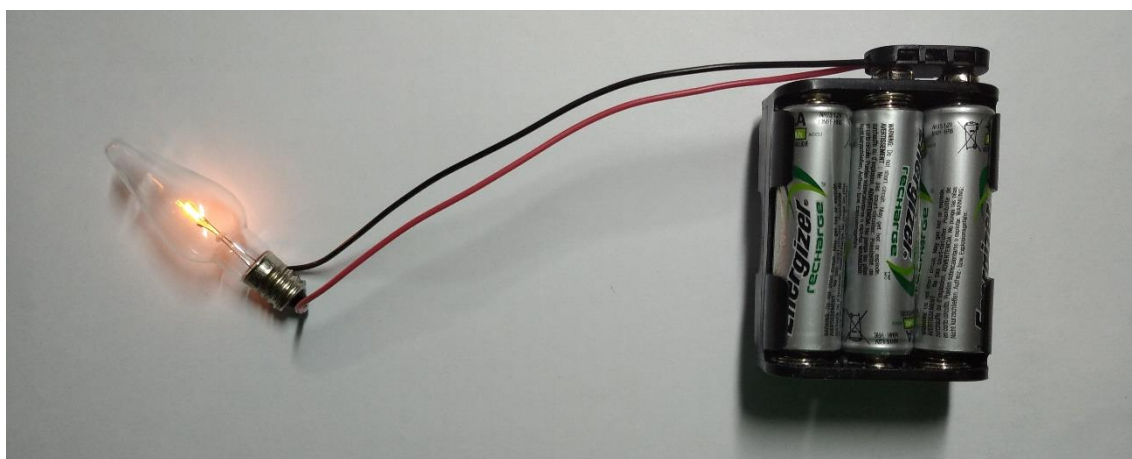
Obr. 4.18 - Typické zapojení akumulátoru do nabíječe – zapojeno do terminálu BAT6

Nejdříve bylo provedeno testovací měření výstupu z každého terminálu. Bylo měřeno napětí naprázdno a proud nakrátko. K měření jsem použil digitální multimetr CEM DT-9602. Výsledky měření jsou v tabulce 4.1.

Tabulka 4.1 - Naměřené hodnoty napětí a proudů každého nabíjecího terminálu

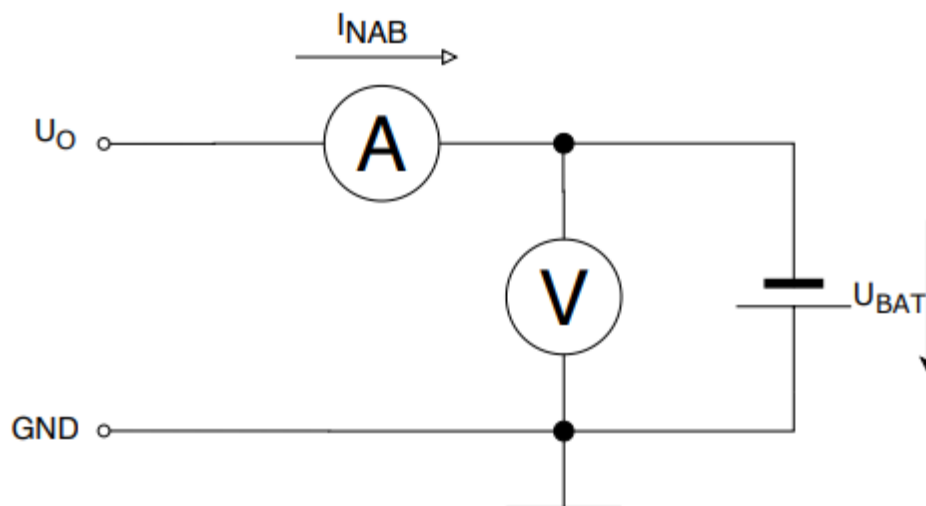
Terminál	Napětí naprázdno [V]	Proud na krátko [A]
BAT1	9,45	0,92
BAT2	9,46	0,92
BAT3	9,48	0,92
BAT4	9,54	0,92
BAT5	9,45	0,93
BAT6	9,53	0,92

Dále bylo provedeno měření hodnot nabíjecího proudu a napětí akumulátoru při nabíjení. Z těchto hodnot bylo možné vypočítat velikost celkové dodané energie a dodaného náboje. K dispozici jsem měl bohužel pro účely měření pouze jeden bateriový blok. Ten bylo před měřením nabíjení nutné co nejvíce vybit. K vybití akumulátoru jsem použil žárovkový vybíječ zobrazený na obr. 4.19.



Obr. 4.19 - Žárovkový vybíječ, 14 V/0,1 A

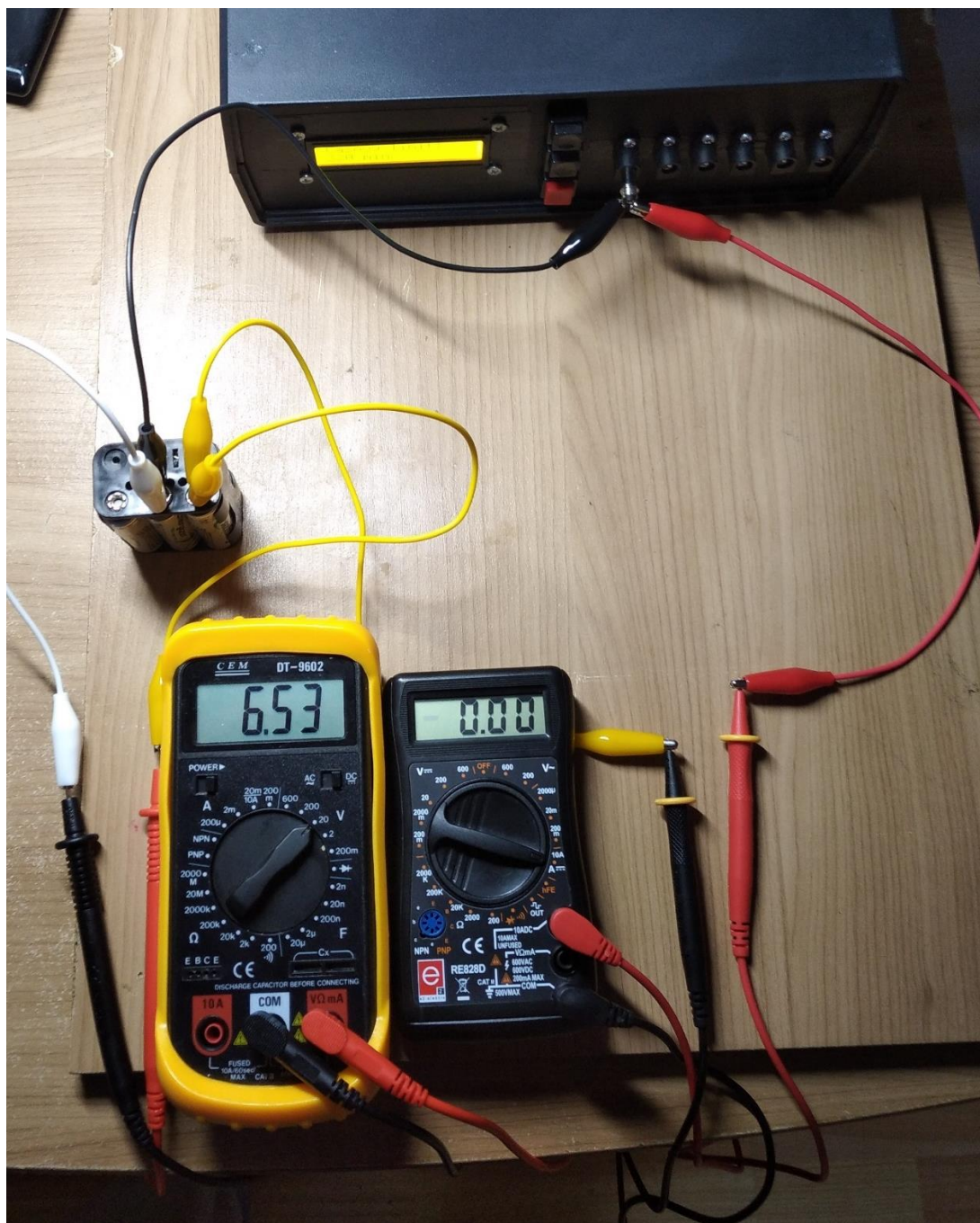
Akumulátor byl vybit na hodnotu napětí kolem  $U_{BAT} = 6,5$  V, což odpovídá hodnotě plně vybitého akumulátoru. Na nabíječi byl nastaven maximální časový limit ukončení nabíjení  $t = 320$  min. Schématické znázornění zapojení pro měření nabíjecích parametrů je zobrazeno na obr. 4.20.



Obr. 4.20 - Schéma zapojení pro měření průběhu nabíjení



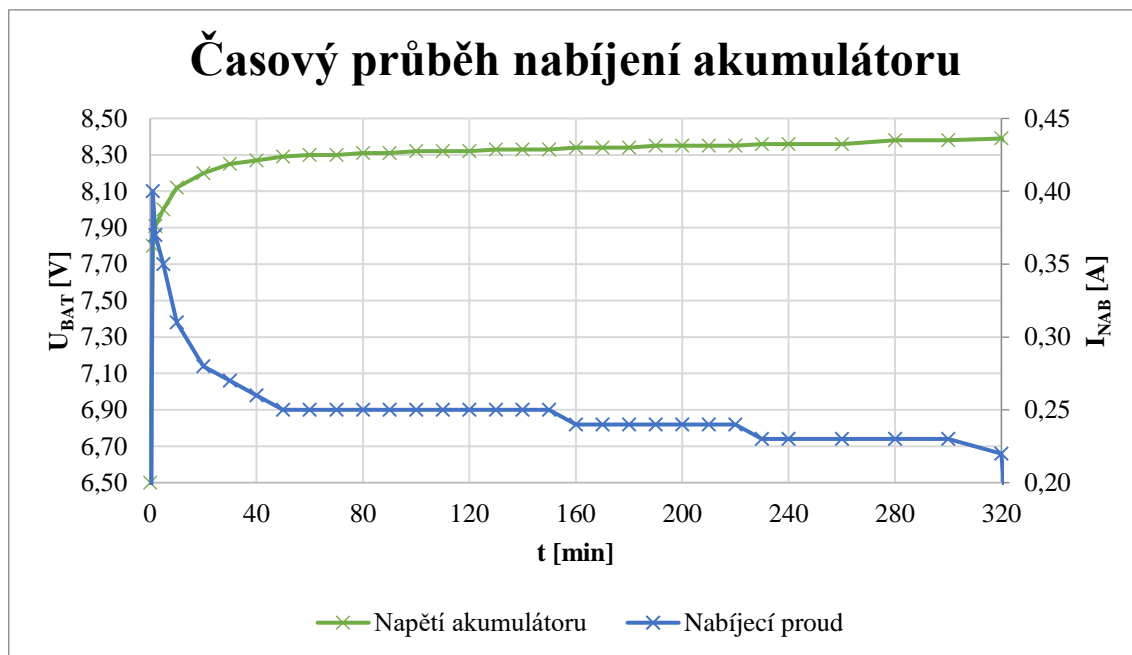
K měření napětí byl použit digitální multimetr CEM DT-9602. Jako ampérmetr byl použit digitální multimetr E2 RE828D. Fotografie z probíhajícího měření zapojení je na obr. 4.21. Výsledky tohoto měření byly zaznamenány do tabulky 4.2. Z naměřených hodnot byl vynesena graf závislosti napětí akumulátoru a nabíjecího proudu na čase, který lze pozorovat na obr. 4.22.



Obr. 4.21 - Zapojení pro měření nabíjecích parametrů

Tabulka 4.2 - Změřené hodnoty napětí a nabíjecího proudu při nabíjení plně vybitého akumulátoru

Čas [min]	Napětí akumulátoru [V]	Nabíjecí proud [A]	Celkový dodaný náboj [mAh]
0	6,50	0,00	0,00
1	7,80	0,40	6,67
2	7,91	0,37	12,83
5	8,00	0,35	30,33
10	8,12	0,31	56,17
20	8,20	0,28	102,83
30	8,25	0,27	147,83
40	8,27	0,26	191,17
50	8,29	0,25	232,83
60	8,30	0,25	274,50
70	8,30	0,25	316,17
80	8,31	0,25	357,83
90	8,31	0,25	399,50
100	8,32	0,25	441,17
110	8,32	0,25	482,83
120	8,32	0,25	524,50
130	8,33	0,25	566,17
140	8,33	0,25	607,83
150	8,33	0,25	649,50
160	8,34	0,24	689,50
170	8,34	0,24	729,50
180	8,34	0,24	769,50
190	8,35	0,24	809,50
200	8,35	0,24	849,50
210	8,35	0,24	889,50
220	8,35	0,24	929,50
230	8,36	0,23	967,83
240	8,36	0,23	1006,17
260	8,36	0,23	1082,83
280	8,38	0,23	1159,50
300	8,38	0,23	1236,17
320	8,39	0,22	1309,50
330	<b>8,30</b>	0,00	<b>1309,50</b>



Obr. 4.22 - Graf časového průběhu nabíjení akumulátoru

Hodnoty byly zaznamenávány nejdříve při 1,2,5 a 10 minutě, aby byl viditelný prudký nárůst napětí akumulátoru na začátku nabíjení. Dále byly hodnoty monitorovány každých 10 minut až po dosažení času 320 minut, kdy došlo k automatickému ukončení nabíjení při dosažení limitní hodnoty času. Celkový dodaný náboj byl vypočítán pomocí vzorce:

$$Q_{BAT} = \sum_{i=1}^{t \leq 320 \text{ min}} (t_i - t_{i-1}) \times I_{NAB,i} \quad (4.1)$$

Vzorec byl zadán do tabulkového editoru Excel a vypočítaná hodnota celkového dodaného náboje je zapsána v tabulce 4.2. Výsledná hodnota dodaného náboje je po 320 minutách nabíjení  $Q_{BAT} = 1309,5 \text{ mAh}$ . Celková maximální kapacita nového akumulátoru by měla být kolem  $Q_{BAT} = 2000 \text{ mAh}$ . Měřený akumulátor však není nový a byl opakovaně vybíjen a nabíjen bez bateriového balancéru obvodu. Z těchto předpokladů lze usoudit, že kapacita takového akumulátoru mohla klesnout na zhruba 70-80 % svojí původní kapacity, což odpovídá hodnotě v rozmezí  $Q_{BAT} = 1400\text{-}1600 \text{ mAh}$ . Z určitosti lze říct, že akumulátor byl nabit na alespoň na 80-90 % svojí současné kapacity v průběhu jednoho nabíjecího cyklu. Pro dobítí na maximální hodnotu by bylo nutné zapnout nabíječ na dodatečných 40-80 minut. Doba úplného nabití by byla tedy kolem 6 hodin.

Pro zrychlení nabíjení je možné upravit hodnotu rezistoru R12 v zapojení spínaného zdroje, který slouží jako omezovač nabíjecího proudu. Pro běžné nabíjení je však současná hodnota tohoto odporu adekvátní. Snížením hodnoty na  $R12 = 1 \Omega$  lze bezpečně nabíjet na zhruba dvojnásobném nabíjecím proudu. Díky zmíněné nemožnosti měření napětí akumulátoru pomocí logického obvodu a možnosti pouze časového ukončení nabíjení by však mohlo dojít k přílišnému přebíjení baterie. To by mohlo mít za následek snížení životnosti akumulátorů.



## 4.7 Celkové náklady na konstrukci

Tabulka 4.3 - Celkové náklady materiálů na konstrukci nabíječe

Název součásti	Obchod	Množství	Cena [Kč]
<b>Konstrukční díly, periferie a zdroj</b>			
Krabička plastová Z15 PS černá (KP13)	GM Electornics	1	110
Spínaný zdroj MEAN WELL LPV-100-24	GM Electornics	1	725
Žluto/zelený LCD display 16x2, I2C	GM Electornics	1	159
Napájecí souosý konektor DS-225A	GM Electornics	6	44
Tlačítkový spínač PBS-12B-B	GM Electornics	2	20
Tlačítkový spínač PBS-12C-R	GM Electornics	1	10
Kolébkový spínač SMRS-101-1C3-R/B	GM Electornics	1	10
Napájecí EURO konektor K241	GM Electornics	1	12
Šrouby M2.5 a M3 s maticemi		asi 20	20
Cín 1 mm bezolovnatý SAC		1	10
<b>Deska plošných spojů (DPS)</b>			
Vyrobená DPS - 2 vrstvy/FR-4	JiaLiChuangPCB	5	50
<b>Elektronické součástky</b>			
Dioda S2M SMD	GM Electornics	6	12
Krystal 16MHz SMD	GM Electornics	1	6
MOSFET N-channel IRLML2402 SOT32	GM Electornics	7	18
Spínaný zdroj MC34063 AD SO8	GM Electornics	7	56
Elktrolyt. Kond. 100u/25V 6,3x7,7	GM Electornics	7	18
Elktrolyt. Kond. 470u/25V 6,3x7,7	GM Electornics	7	48
Cívka TL 0704 220uH DE	GM Electornics	7	69
MCU ATmega328P-AU TQFP-32	GM Electornics	1	69
BQ2002TSNTR SOIC-8	Farnell	6	288
Schottkyho dioda MBRs140T3G	Farnell	7	53
Rezistory různých hodnot 0805	Čína (asi 0,2 Kč/ks)	79	16
Kondenzátory různých hodnot 0805	Čína (asi 0,2 Kč/ks)	22	5
Pinové vývody a kabely			20
<b>Celkem</b>			<b>1848</b>

U všech součástí bylo zakoupeno více kusů, než bylo použito kvůli rezervě. Ceny všech prvků jsou dopočítány z celkové pořizovací ceny i s rezervními kusy a odpovídají pořizovacím cenám z dubna/května 2020, kdy byly zakoupeny. Do celkové ceny nebyly připočteny ceny vadných/poškozených součástí. To znamená, že celková cena je pouze orientační a může být vyšší než uvedená.

## 5 ZÁVĚR

Práce se zaměřovala na návrh a realizaci nabíječe. Práce se z menší míry také zaměřuje na zkoumání problematiky nabíjení a vhodné volby akumulátorů.

V úvodní části práce bylo snahou co nejvíce přiblížit problematiku týkající se nabíjecích článků. Bylo popsáno složení a vysvětleny principy funkce dnes nejpoužívanějších akumulátorů NiMH, NiCd, Li-Pol a Li-ion. V kapitole je zhotoveno porovnání jejich parametrů. Na základě tohoto porovnání je vysvětlen výběr právě NiMH akumulátoru.

Kapitola zabývající se problematikou nabíjení pojednává o používaných nabíjecích charakteristikách, zmiňuje jejich výhody a nevýhody a podrobněji se zaměřuje na nabíjení NiMH akumulátorů. Jsou zde podrobně popsány metody pro rozpoznání plně nabitého akumulátoru při nabíjení, doplněny o názorné časové průběhy.

Další kapitola se týká samotného návrhu nabíječe. Nejdříve je zde popsán výběr vhodného stabilizátoru napětí pro napájení logického obvodu nabíječe. Další část je věnována problematice výběru správného měniče pro nabíjení. Jsou uvedeny rozdíly mezi lineárním stabilizátorem a spínaným regulátorem, na jejichž základě byl vybrán vhodný zdroj nabíjecího proudu. Pomocí výpočtů jsou stanoveny parametry napájecího adaptéru. V další podkapitole byl popsán senzorový obvod, měřící důležité veličiny při nabíjení. Ke konci je popsána problematika řízení nabíjení a nastavení parametrů nabíjecího cyklu. Je vybrán vhodný manager nabíjení akumulátorů a mikrokontroler pro jeho dodatečné řízení.

V poslední kapitole je realizace a konstrukce navrženého nabíječe. Je vybrán vhodný zdroj napětí pro napájení obvodu. Jsou zde také popsány použité periferie jako je displej, ovládací tlačítka, konektory a použitá přístrojová krabička včetně popisu montáže zmíněných komponent. Další část kapitoly je věnována schématickému návrhu obvodu včetně popisu signálu, poté následuje samotný návrh a osazení desky plošných spojů zkonstruovaných podle navrženého schématu. Následující část kapitoly se zaměřuje na zapojení mikrokontroleru, jeho programování a je zde zobrazen stavový automat nabíječe.

Výstupem bakalářské práce je funkční nabíječ NiMH bateriových bloků. Zařízení je ovládáno pomocí mikrokontroleru a dodržuje požadavky zmíněné v úvodu práce. Při návrhu byly bohužel vneseny chyby, které neumožňují nabíječi fungovat podle původních předpokladů. Zmíněné chyby jsou popsány v poslední kapitole a je zde navržena nutná úprava obvodu k jejich odstranění.

Zařízení bylo podrobeno měření, při kterém byl nabíjen plně vybitý bateriový blok. Při jeho nabíjení byly zkoumány důležité parametry nabíjení. Výsledky měření byly zaznamenány do tabulky a byla z nich do grafu vynesena časová závislost. Změřené hodnoty byly patřičně okomentovány a byla z nich stanovena velikost celkového dodaného náboje za jeden nabíjecí cyklus.

V poslední části byla stanovena celková orientační cena materiálu pro realizaci této práce včetně ceny konstrukčních dílů, desky plošných spojů a použitých elektronických součástek.

## **POUŽITÉ MĚŘICÍ PŘÍSTROJE**

Digitální multimetr CEM DT-9602 [30],

Digitální multimetr E2 RE828D [31]

# LITERATURA

- [1] Hermetické akumulátory. *Abeceda baterií a akumulátorů* [online]. Politických vězňů 1337, 274 01 Slaný, Česká republika: BATTEX, spol. s r.o., 2009 [cit. 2019-12-08]. Dostupné z: <http://www.battex.info/elektricke-akumulatory-obecne/hermeticke-akumulatory>
- [2] Lithium-ion battery. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-12-08]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Lithium-ion\\_battery](https://en.wikipedia.org/wiki/Lithium-ion_battery)
- [3] Lithium polymer battery. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-12-08]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Lithium\\_polymer\\_battery](https://en.wikipedia.org/wiki/Lithium_polymer_battery)
- [4] Nickel–cadmium battery. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-12-08]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Nickel%E2%80%93cadmium\\_battery](https://en.wikipedia.org/wiki/Nickel%E2%80%93cadmium_battery)
- [5] Nickel–metal hydride battery. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-12-08]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Nickel%E2%80%93metal\\_hydride\\_battery](https://en.wikipedia.org/wiki/Nickel%E2%80%93metal_hydride_battery)
- [6] Make your own "Powerwall" (Big LiFePO4 Battery Pack!). *YouTube, LLC* [online]. Birkenallee 24, 36037 Fulda, Spolková republika Německo: GreatScott!, 2019 [cit. 2019-12-08]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=ewkj875qUmk>
- [7] Přehledné informace o typech akumulátorů. *AstraModel* [online]. Prakšičká 2589, Uherský Brod, Česká republika: Astra, spol., 2019 [cit. 2019-12-08]. Dostupné z: <https://www.astramodel.cz/cz/blog/prehledne-informace-o-typech-akumulatoru.html>
- [8] *Nabíječe a nabíjení. 2., přeprac. vyd.* Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1987. Populární elektrotechnika.
- [9] Nabíjení hermetických akumulátorů. *Abeceda baterií a akumulátorů* [online]. Politických vězňů 1337, 274 01 Slaný, Česká republika: BATTEX, spol. s r.o., 2009 [cit. 2019-12-08]. Dostupné z: <http://www.battex.info/hermeticke-akumulatory/nabijeni-hermetickych-akumulatoru>
- [10] Katalogový list lineárního stabilizátoru 7805. *SparkFun Electronics* ® [online]. [cit. 2019-12-08]. Dostupné z: <https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/LM7805.pdf>
- [11] Katalogový list lineárního stabilizátoru LM317T. *STMicroelectronics* [online]. [cit. 2019-12-08]. Dostupné z: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/lm217.pdf>
- [12] Katalogový list spínaného regulátoru TS34063. *Taiwan Semiconductor* [online]. [cit. 2019-12-08]. Dostupné z: [https://www.taiwansemi.com/products/datasheet/TS34063\\_B13.pdf](https://www.taiwansemi.com/products/datasheet/TS34063_B13.pdf)
- [13] Katalogový list manageru nabíjení BQ2002. *Texas Instruments Incorporated* [online]. [cit. 2019-12-08]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/bq2002.pdf>
- [14] Katalogový list mikrokontroleru ATmega328P. *Microchip Technology Inc.* [online]. [cit. 2019-12-08]. Dostupné z: [http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P\\_Datasheet.pdf](http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P_Datasheet.pdf)
- [15] Katalogový list konvertoru CH340DS. *SparkFun Electronics* ® [online]. [cit. 2019-12-08]. Dostupné z: <https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Dev/Arduino/Other/CH340DS1.PDF>
- [16] IIC I2C Displej OLED 0.91" 128x32 Bílý 3,3 V 5V Pro IOT Arduino Raspbery. *Arduino-*

- shop.cz* [online]. ECLIPSERA [cit. 2019-12-08]. Dostupné z: <https://arduino-shop.cz/arduino/1479-iic-i2c-displej-oled-091-128x32-bily-33-v-5v-pro-iot-arduino-raspberry.html>
- [17] Trickle charging. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2019-12-08]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Trickle\\_charging](https://en.wikipedia.org/wiki/Trickle_charging)
- [18] Katalogový list vývojové desky s čipem BQ2002. *Texas Instruments Incorporated* [online]. [cit. 2019-12-08]. Dostupné z: <http://www.ti.com/lit/ug/sl00007b/sl00007b.pdf>
- [19] Katalogový list Shottkyho diody MBRS140T3G. *Premier Farnell Limited* [online]. [cit. 2020-5-31]. Dostupné z: <http://www.farnell.com/datasheets/1911628.pdf>
- [20] Katalogový list spínacího zdroje MEAN WELL LPV-100-24. *GM electronic, spol. s.r.o.* [online]. [cit. 2020-5-31]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/data/attachments/dsh.332-334.1.pdf>
- [21] Parametry přístrojové krabičky. *GM electronic, spol. s.r.o.* [online]. [cit. 2020-5-31]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/krabicka-plastova-kp13-z-15>
- [22] Knihovna funkcí I2C LCD displeje pro Arduino ISP. *Frank de Brabander* [online]. [cit. 2020-5-31]. Dostupné z: <https://www.arduino-libraries.info/libraries/liquid-crystal-i2-c>
- [23] Katalogový list LCD displeje 16x2 (žluto/zelený), I2C. *GM electronic, spol. s.r.o.* [online]. [cit. 2020-5-31]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/data/attachments/dsh.775-076.1.pdf>
- [24] Katalogový list LCD displeje 16x2 (žluto/zelený), I2C. *GM electronic, spol. s.r.o.* [online]. [cit. 2020-5-31]. Dostupné z: [https://www.gme.cz/data/product/480\\_480/pctdetail.624-254.1.jpg?ts=1503730999](https://www.gme.cz/data/product/480_480/pctdetail.624-254.1.jpg?ts=1503730999)
- [25] Obrázek použitého kolébkového spínače 230V/1A. *GM electronic, spol. s.r.o.* [online]. [cit. 2020-5-31]. Dostupné z: [https://www.gme.sk/data/product/300\\_300/pctdetail.806-001.1.jpg?ts=1503658734](https://www.gme.sk/data/product/300_300/pctdetail.806-001.1.jpg?ts=1503658734)
- [26] Obrázek tlačítkového spínače. *GM electronic, spol. s.r.o.* [online]. [cit. 2020-5-31]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/data/attachments/dsh.630-097.1.pdf>
- [27] PCB Capabilities. *JiaLiChuangPCB* [online]. [cit. 2020-5-31]. Dostupné z: <https://jlpcb.com/capabilities/Capabilities>
- [28] PCB Trace Width Calculator. In: ©*Advanced Circuits, Brad Suppaz* [online]. 2018 [cit. 2020-5-31]. Dostupné z: <https://www.4pcb.com/trace-width-calculator.html>
- [29] From Arduino to a Microcontroller on a Breadboard. *Arduino.cc* [online]. [cit. 2020-5-31]. Dostupné z: <https://www.arduino.cc/en/Tutorial/ArduinoToBreadboard>
- [30] Katalogový list digitálního multimetru CEM DT-9602. *GM electronic, spol. s.r.o.* [online]. [cit. 2020-6-6]. Dostupné z: <https://www.gme.cz/data/attachments/czn.722-128.1.pdf>
- [31] Katalogový list digitálního multimetru E2 RE828D. *Altronic Distributors Pty Ltd.* [online]. [cit. 2020-6-6]. Dostupné z: [https://download.altronics.com.au/files/instructions\\_Q1053A.pdf](https://download.altronics.com.au/files/instructions_Q1053A.pdf)

# SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

<i>NiMH</i>	Nikl metal hydrit
<i>NiCd</i>	Nikl kadmium
<i>Li-ion</i>	Lithium iont
<i>Li-pol</i>	Lithium polymer
<i>NiMH</i>	Nikl metal hydrit
<i>Ah</i>	Ampérhodina
<i>AA, AAA</i>	Typy alkalických baterií
<i>C</i>	Kapacita baterie
<i>-ΔV</i>	Úbytek napětí ke konci nabíjení, čti „minus delta peak“
<i>I<sub>I</sub></i>	Vstupní proud
<i>I<sub>O</sub></i>	Výstupní proud
<i>U<sub>I</sub></i>	Vstupní napětí
<i>U<sub>O</sub></i>	Výstupní napětí
<i>U<sub>BAT</sub></i>	Napětí baterie nebo akumulátoru
<i>I<sub>NAB</sub></i>	Nabíjecí proud
<i>Step-down</i>	Typ měniče snižujícího napětí
<i>LOW, HIGH, MID</i>	Logické úrovně
<i>ADC</i>	Převodník analogového vstupu na digitální
<i>DAC</i>	Převodník digitálního vstupu na analogový
<i>UART</i>	Zařízení pro komunikaci na sériové lince
<i>I2C</i>	Sběrnice pro sériovou komunikaci
<i>SPI</i>	Sběrnice pro sériovou komunikaci
<i>USB</i>	Sběrnice pro sériovou komunikaci
<i>OLED</i>	Technologie výroby LCD displejů
<i>DPS</i>	Deska plošných spojů
<i>THT</i>	Through-Hole Technology (technologie drátových vývodů)
<i>TH</i>	Through-Hole
<i>SMT</i>	Surface-Mount Technology (povrchová montáž)
<i>DRC</i>	Design Rule Check (kontrola návrhových pravidel)

<i>VCC</i>	Napájecí napětí logického obvodu (+5V)
<i>GND</i>	Společná elektrická zem
<i>RX/TX</i>	Označení signálů sériové komunikace Recieve/Transmit
<i>RST</i>	Signál resetovacího pinu mikrokontroleru
<i>MCU</i>	Zkratka mikrokontroleru (z angl. Microcontroller Unit)

# SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 2.1 - Voltampérová charakteristika (vlevo) a časová průběh výstupního napětí a nabíjecího proudu (vpravo) nabíječe s charakteristikou <b>I</b> . Inspirováno z [8]	7
Obr. 2.2- Voltampérová charakteristika (vlevo) a časová průběh výstupního napětí a nabíjecího proudu (vpravo) nabíječe s charakteristikou <b>U</b> . Inspirováno z [8]	8
Obr. 2.3- Voltampérová charakteristika (vlevo) a časová průběh výstupního napětí a nabíjecího proudu (vpravo) nabíječe s charakteristikou <b>W</b> . Inspirováno z [8]	9
Obr. 2.4 – Graf znázorňující ukončení nabíjení poklesem napětí akumulátoru. Inspirováno z [9]	10
Obr. 2.5 - Graf znázorňující ukončení nabíjení po dosažení limitní teploty akumulátoru. Inspirováno z [9]	11
Obr. 2.6 - Graf znázorňující ukončení nabíjení při limitním nárůstu teploty za čas. Inspirováno z [9]	12
Obr. 3.1 - Typické zapojení TS34063 jako step-down měnič napětí. [12]	15
Obr. 3.2 - Příklad zapojení odporového děliče pro měření napětí akumulátoru. [13]	17
Obr. 3.3 - Obvod BQ2002 s popisem pinů. [13]	19
Obr. 3.4 - Stavový diagram nabíjení obvodu BQ2002. Inspirováno z [13]	20
Obr. 3.5 - Mikrokontroler Atmel ATmega328P pro SMT montáž	21
Obr. 4.1 - Vybraný napájecí zdroj značky MEAN WELL 24 V/100 W. [20]	23
Obr. 4.2 - Vybraná přístrojová krabička pro uložení zdroje, DPS a periférií. [21]	23
Obr. 4.3 - Bateriový blok, redukce 9 V na souosý DC konektor (M) a souosý protikus (F)	24
Obr. 4.4 - Síťový konektor 230 V a kolébková vypínač. [22], [23]	24
Obr. 4.5 - LCD displej 16x02 s podsvícením a I2C převodníkem. [23]	25
Obr. 4.6 - Jednopolový tlačítkový spínač pro montáž do panelu. [26]	25
Obr. 4.7 - Přední a zadní panel nabíječe osazený všemi perifériemi	26
Obr. 4.8 - Zapojení měniče napětí pro logický obvod v programu EAGLE	27
Obr. 4.9 - Výsledné schématické zapojení jednoho nabíjecího obvodu	28
Obr. 4.10 - Schématické zapojení mikrokontroleru ATmega328P	29
Obr. 4.11 - Ukázka vyrobené DPS - neosazená přední strana	31
Obr. 4.12 - Upevněná osazená deska v krabičce s připojenými perifériemi	32
Obr. 4.13 - Příklad zapojení druhé desky pro nahrání programu. [29]	33



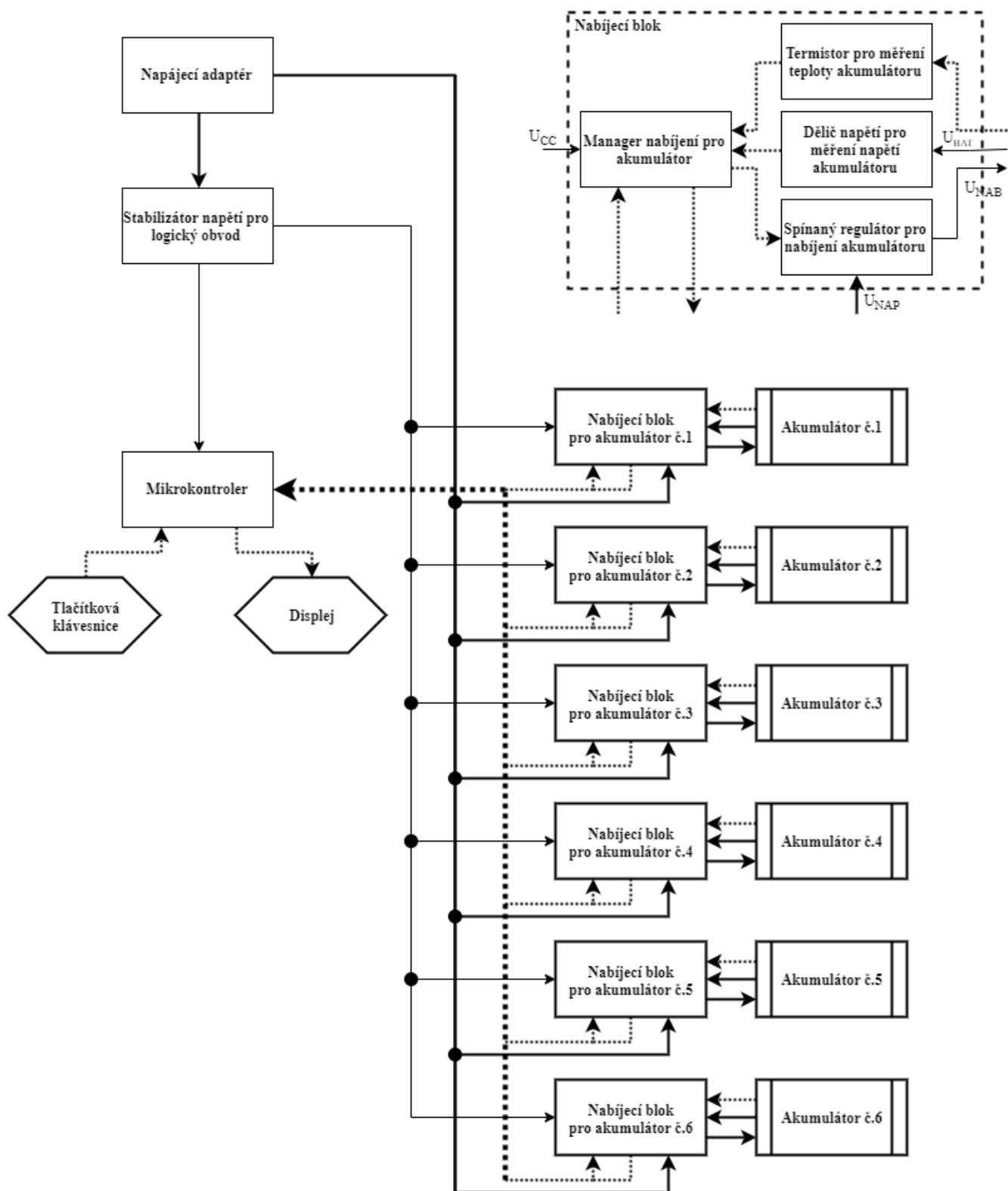
Obr. 4.14 - Funkční stavový automat nabíječe .....	33
Obr. 4.15 - Displej nabíječe v různých režimech - nahoře režim nastavení, uprostřed režim přípravy, dole režim nabíjení .....	34
Obr. 4.16 - Vlevo navržené zapojení, vpravo upravené zapojení.....	35
Obr. 4.17 - Nutná úprava obvodu pro správnou funkci čtení napětí akumulátoru .....	35
Obr. 4.18 - Typické zapojení akumulátoru do nabíječe – zapojeno do terminálu BAT636	
Obr. 4.19 - Žárovkový vybíječ, 14 V/0,1 A.....	37
Obr. 4.20 - Schéma zapojení pro měření průběhu nabíjení .....	37
Obr. 4.21 - Zapojení pro měření nabíjecích parametrů.....	38
Obr. 4.22 - Graf časového průběhu nabíjení akumulátoru .....	40

# SEZNAM TABULEK

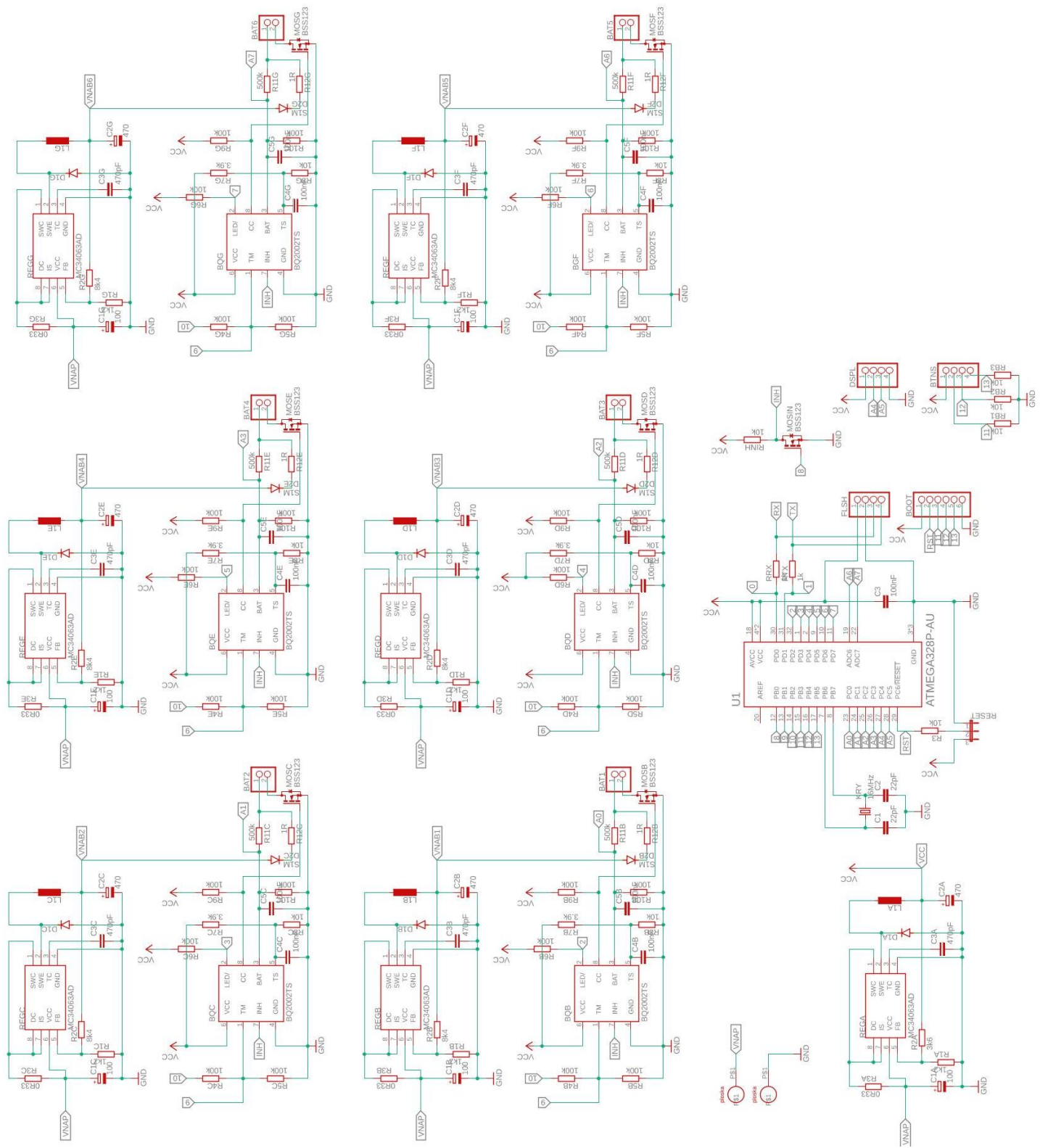
Tabulka 1.1 - Porovnání vlastností nejpoužívanějších akumulátorů v elektronice [6], [7] .....	5
Tabulka 3.1 - Porovnání parametrů lineárního stabilizátoru LM317T a spínaného regulátoru TS34063 [11], [12] .....	15
Tabulka 3.2 - Parametry pro TS34063 pro zapojení jako step-down měnič. [12].....	16
Tabulka 3.3 - Hodnoty pro různá nastavení pinu TM na obvodu BQ2002. [13].....	20
Tabulka 4.1 - Naměřené hodnoty napětí a proudů každého nabíjecího terminálu .....	36
Tabulka 4.2 - Změřené hodnoty napětí a nabíjecího proudu při nabíjení plně vybitého akumulátoru .....	39
Tabulka 4.3 - Celkové náklady materiálů na konstrukci nabíječe .....	41

# A NÁVRH NABÍJEČE

## A1 Blokové schéma nabíječe



## A2 Obvodové schéma zapojení



### A3 Design desky plošných spojů (DPS)

